



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI - MPEG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
BOTÂNICA TROPICAL**

WENDELL VILHENA DE CARVALHO

**Variação fenotípica em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) em
tipologias abertas da Amazônia Oriental**

**BELÉM
2020**

WENDELL VILHENA DE CARVALHO

**Variação fenotípica em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae)
em tipologias abertas da Amazônia Oriental**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração Botânica Tropical para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Ecologia, Manejo e Conservação.

Orientadora: Dr^a. Ely Simone Cajueiro Gurgel.

Coorientadora: Dr^a. Grazielle Sales Teodoro.

BELÉM
2020

C331v Carvalho, Wendell Vilhena de
Variação fenotípica em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) em tipologias abertas da Amazônia Oriental / Wendell Vilhena de Carvalho. - 2020.
122 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Biológicas (CB), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.
Orientador: Profa. Dra. Ely Simone Cajueiro Gurgel
Coorientador: Profa. Dra. Grazielle Sales Teodoro.

1. Morfo-anatomia funcional. 2. Relações planta-solo. 3. Atributos funcionais. I. Cajueiro Gurgel, Ely Simone, *orient.* II. Título

WENDELL VILHENA DE CARVALHO

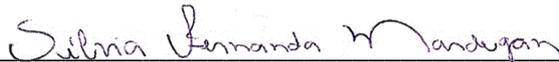
**Variação fenotípica em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae)
em tipologias abertas da Amazônia Oriental**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Botânica Tropical, da Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para obtenção de título de mestre em Botânica.

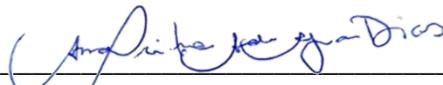
Aprovado em 21 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

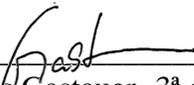
Dr.^a Ely Simone Cajueiro Gurgel - Orientadora
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG



Dr.^a Silvia Fernanda Mardegan- 1^a examinador
Universidade Federal do Pará – UFPA



Dr.^a Ana Cristina Andrade de Aguiar Dias - 2^a examinador
Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG



Dr. Markus Gastauer- 3^a examinador
Instituto Tecnológico Vale - ITV

Dr.^a Cláudia Viana Urbinati – Suplente
Universidade do Estado do Pará – UEPA

Aos meus pais, Walber Pedro e Telma, que são e sempre foram meu alicerce no decorrer desta caminhada, dedico.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Programa de Apoio a Pesquisa – PAP do Museu Paraense Emílio Goeldi.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas – Botânica Tropical UFRA/MPEG por toda infraestrutura e apoio técnico-científico durante a realização deste estudo e pelo uso do LAVEG, LABTAX e Herbário MG.

Em especial, aos meus pais, Walber Pedro Carvalho e Telma Vilhena, que sempre acreditaram no meu potencial e sonharam todos os meus sonhos juntos comigo. Obrigado por serem os melhores pais e nunca desistirem de me fazer sentir o filho mais amado do mundo.

Aos meus irmãos, Abner e Thalles, que compartilham uma vida inteira junto comigo e sempre serão meus referenciais, obrigado pela força, paciência e eterna parceria.

Às orientadoras, Dra. Ely Simone Gurgel e Dra. Grazielle Teodoro, por terem aceitado esse desafio da orientação, pela paciência, cobranças e sugestões sempre pertinentes. Obrigado por terem me acolhido como filho e acreditado no meu potencial, levarei vocês no peito por onde eu for, sempre como exemplo de profissional no qual tive a honra de trabalhar e aprender.

À minha eterna orientadora Alba Lins, que me ensinou que o caminho das pedras que é a ciência pode ser muito mais prazerosa quando feita com amor. Obrigado por ter me inserido no meio acadêmico, ter me apresentado o universo da botânica e me ensinado tantos princípios e valores. Que honra ter trabalhado desde o PIBIC ao seu lado!

À Ewellyn Vasconcelos, por todo o amor e carinho. Por toda a paciência nos dias ruins, por ser a minha melhor companhia e sempre me fazer lembrar do meu potencial e de que o mundo é pequeno demais para os nossos sonhos.

À todos os amigos do MPEG, em especial aos da COBOT: Karen, Vanessa, Marília, Luiz, Natália, Maria Antônia, Rubens, Cris, Eduardo, Alexandre, Thiara, João Victor, Alana, Zelina, André Hage, Breno, Joana Serrão e tantos outros que cruzaram meu caminho ao longo destes 7 anos. Obrigado por terem feito meus dias mais alegres!

Aos amigos que fiz na UFPA, especificamente no ECOPRO: Luanne, Handria, Karol Chaves, Leandra, Carol Enríquez, Jéssica, Augusto, Liziane, Beatriz, Ana Luiza, Hailin Calderón, Raissa e aos rotatórios, muito obrigado por toda a ajuda e parceria ao longo desses 2 anos.

À Dra. Cláudia Urbinati, minha eterna professora da graduação, pelas inúmeras contribuições valiosas e por ceder o bolsista Maycon Teixeira, espaço e material do Laboratório Multiusuário de Engenharia Florestal – LAMEF (UEPA).

À Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, por intermédio do Dr. Abner Carvalho e da Msc. Bruna Martins pelo uso dos equipamentos e instalações do laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Naturais Bioativos - P&DBio.

Ao Projeto Bicho D'água do Museu Goeldi, pela estadia nos alojamentos durante a excursão na Ilha do Marajó, transporte e auxílio em campo do biólogo Leonardo Gabriel.

Ao Laboratório de Fitoquímica do Campus de Pesquisa do Museu Goeldi, em especial a técnica sempre solícita, Lidiane, muito obrigado.

Ao técnico Sr. Carlos Alberto (Seu Beleza) da COBOT, pela presença em todas as expedições e por todo o conhecimento e *expertise* na identificação e coleta de material.

Ao Dr. Mário Jardim, que financiou e permitiu a minha participação na expedição até o município de Vigia. Assim como ao Dr. Elielson Rocha, que me acompanhou e auxiliou na expedição até as campinas de Maracanã.

À Marta Freitas (EMBRAPA), que me auxiliou em inúmeras dúvidas referentes as técnicas de anatomia da madeira. Quero um dia ser tão bom microtomista quanto você!

Aos membros da Banca Avaliadora, que aceitaram contribuir com esta pesquisa.

Por último e, não menos importante, a Deus, motivo pelo qual cheguei até aqui. Obrigado pai, pela tua fidelidade que excede todo o meu entendimento. Por me amar e me fazer chegar a lugares que nunca imaginei, esse é só o começo...!

“Os seres humanos podem ansiar pela certeza absoluta; podem aspirar a alcançá-la; podem fingir, como fazem os partidários de certas religiões, que a atingiram. Mas a história da Ciência – de longe o mais bem-sucedido conhecimento acessível aos humanos – ensina que o máximo que podemos esperar é um aperfeiçoamento sucessivo de nosso entendimento, um aprendizado por meio de nossos erros, uma abordagem assintótica do Universo, mas com a condição de que a certeza absoluta sempre nos escapará.”

Carl Sagan

RESUMO

CARVALHO, W. V. **Variação fenotípica em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) em tipologias abertas da Amazônia Oriental.** 2020. 122f. Mestrado em Ciências Biológicas, Botânica Tropical - Universidade Federal Rural da Amazônia/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará, 2020.

A heterogeneidade ambiental, que se traduz em uma grande variação na disponibilidade de nutrientes e água no solo e em condições de luz distintas, transforma as áreas abertas em um ambiente modelo para estudar a variação fenotípica em espécies co-ocorrentes, predizendo respostas frente a eventos climáticos extremos. Entendendo que variações ocorrem nos atributos funcionais das plantas de acordo com a necessidade fisiológica e com as condicionantes do solo e climáticas, este estudo avaliou se ocorre variações nos atributos morfológicos foliares e anatômicos dos ramos em *Curatella americana*, adotando a hipótese de que a disponibilidade de recursos no ambiente (água e nutrientes) levam a respostas plásticas em *C. americana*. Ramos e amostras de solo de 10 ind/área foram coletados na porção oriental da Amazônia em sete áreas (duas campinas, três savanas e duas restingas), no período menos chuvoso amazônico. Para os atributos morfológicos, foram calculados: área foliar (LA), área específica foliar (SLA), espessura foliar (LT), teor de matéria seca foliar (LDMC) e densidade do ramo (WD) (N=10 ind./área). Foram utilizadas as técnicas usuais em anatomia da madeira para calcular os atributos anatômicos: diâmetro do vaso (D), densidade dos vasos (VD), soma da área dos vasos (AV), índice de vulnerabilidade (VI), fração do lúmen do vaso (F), fração sem-lúmen (NF), condutividade hidráulica (Kh) e resistividade do lúmen (RL) (N=3 ind./área). *C. americana* foi capaz de desenvolver respostas estruturais às variações edafo-climáticas com variações mais expressivas nas folhas do que na madeira. Os atributos morfológicos apresentaram respostas plásticas mais significativas que os atributos anatômicos. Em relação a estratégia hidráulica a espécie investiu na eficiência no transporte de água em detrimento da segurança. Portanto, nossos resultados mostram que a espécie apresenta plasticidade na construção e alocação de recursos para construção de seus atributos foliares e densidade dos ramos.

Palavras-chave: morfo-anatomia funcional, relações planta-solo, atributos funcionais.

ABSTRACT

The environmental heterogeneity translates into a wide variation in the availability of nutrients and water in the soil and in different light conditions, transforming open areas into a model environment to study the phenotypic variation capacity of co-occurring species, predicting responses in the face of extreme weather events. Understanding that variations occur in functional attributes according to the physiological requirements and with the soil and climatic conditions, this study wants to evaluate if there are variations in the leaf morphology and anatomical attributes of the branches in *Curatella americana*, adopting the hypothesis that the availability of resources in the environment (water and nutrients) lead to plastic responses in *C. americana*. Branches and soil samples of 10 ind./area were collected in the eastern portion of the Amazon in seven areas (two meadows, three savannas and two sandplains (restinga)), in the dry Amazonian period. For morphological attributes, leaf area (LA), specific leaf area (SLA), leaf thickness (LT), leaf dry matter content (LDMC) and wood density (WD) (N = 10 ind./area) were calculated. The usual techniques in wood anatomy were used to calculate the anatomical attributes: vessel diameter (D), vessel density (VD), average vessel area (AV), vulnerability index (VI), vessel lumen-fraction (F), non-lumen fraction (NF), hydraulic conductivity (Kh) and lumen resistivity (RL) (N = 3 ind./area). *C. americana* was able to develop structural responses to edaphic and climatic variations with more expressive variations in leaves than in wood. The morphological attributes showed plastic responses more significant than the anatomical attributes. Regarding the hydraulic strategy, the specie invested in efficiency of water transport instead of hydraulic security. Therefore, our results show that the specie presents plasticity in the construction and allocation of resources for the construction of its leaf attributes and branch density.

Keywords: functional morpho-anatomy, plant-soil relationships, functional attributes.

SUMÁRIO

ABSTRACT	10
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Estratégias de espécies vegetais e a influência do ambiente	15
2.2 <i>Curatella americana</i> L.	18
2.3 Savana Amazônica.....	21
2.4 Campina Amazônica	24
2.5 Restinga Amazônica	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Área de coleta de material botânico.....	31
3.2 Amostragem	36
3.3 Atributos morfológicos.....	37
3.4 Atributos anatômicos	39
3.5 Características do solo.....	40
3.6 Análise dos dados.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	62
ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE <i>CURATELLA AMERICANA</i> L. (DILLENACEAE) EM UM GRADIENTE EDÁFICO EM FITOFISIONOMIAS ABERTAS AMAZÔNICAS.....	62
Introdução	64
Material e métodos	67
Área de estudo	67
Amostragem.....	70
Atributos morfológicos.....	70
Atributos anatômicos.....	72
Características do solo	73
Análise dos dados	74
Resultados.....	74
Atributos do solo	74
Atributos morfológicos.....	76
Atributos anatômicos da madeira	77
Análise das estratégias CSR	78
Análise Hierárquica de Clusters - HCA	79
Análise de redundância - RDA.....	79
Discussão.....	81
Fatores edáficos nas tipologias abertas amazônicas	81
Atributos funcionais de <i>Curatella</i>	84
Conclusão	89
Agradecimentos	90
Referências	90
Appendices	108

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A capacidade de uma espécie vegetal se estabelecer, sobreviver e reproduzir em um determinado ambiente está relacionada aos seus atributos ecofisiológicos que favorecem a aquisição de recursos e a resistência a fatores de estresse (SULTAN, 2000; NOCK *et al.* 2016). Espécies que co-ocorrem em diferentes tipos vegetacionais, com distintas características climáticas e edáficas, podem apresentar variações fenotípicas em seus atributos funcionais como resposta ao ambiente (ARAUJO, 2004; DE MATTOS *et al.* 2004; LARCHER, 2000; OELZE *et al.* 2012; TAIZ; ZEIGER, 2004).

A variação fenotípica retrata a habilidade de um organismo alterar sua fisiologia e/ou morfologia em decorrência de sua interação com o ambiente (HOOPER *et al.* 2005). Resultando em vantagens adaptativas, mudanças na morfologia, estado fisiológico e comportamento, acarretando em aumento da tolerância ambiental (SIH *et al.* 2010; VIOLLE *et al.* 2007).

Os atributos morfológicos e anatômicos auxiliam na compreensão do desempenho ecofisiológico das espécies em ambientes com condições ambientais limitantes (ACKERLY, 2004). Além disso, podem fornecer indicativos de suas estratégias ecológicas, abordando como a seleção atua para otimizar a aptidão dos organismos (CORNELLISSSEN *et al.* 2003; GARNIER *et al.* 2001). As variações nos atributos relacionam-se às diferenças nas estratégias de investimento em carbono e nutrientes que são fundamentais para determinar sua sobrevivência no ambiente (BARNETT *et al.* 2007; NORBERG, 2004; LITCHMAN; KLAUSMEIER, 2008; WESTOBY *et al.* 2002).

A análise das estratégias CSR é uma ótima ferramenta para avaliar a plasticidade e a influência dos fatores edáficos e climáticos em espécies de plantas, identificando sua estratégia ecológica frente a interação entre estresses e distúrbios (Grime, 2001). As espécies podem ser classificadas quanto à habilidade de competir por recursos (competidoras – C), de tolerar estresses ambientais (tolerantes a estresses – S) e espécies de ambientes expostos a distúrbios frequentes (ruderais – R) (GRIME, 1977; GRIME, 2001). De acordo com os grupos da teoria CSR, espécies de plantas possuem conjuntos de atributos comuns que lhes confere plasticidade frente a variações ambientais (estresses e distúrbios) com respostas similares em diferentes ecossistemas (GRIME, 2001).

Uma característica importante do domínio morfoclimático da Amazônia é a fisionomia de sua vegetação, que pode ser aberta ou fechada (CARVALHO; CARVALHO, 2012). Entre a complexa rede de vegetação distribuída sobre florestas

tropicais, várzeas periodicamente inundadas e matas de terra-firme (AB' SABER, 2003), existem áreas expressivas de vegetação aberta nos estados de Rondônia, Roraima, Amazonas, Pará e Amapá, ocupando uma extensão de até 267,164 km². Essas áreas ocorrem como enclaves dentro de extensas áreas florestais (AMARAL *et al.* 2019; CARVALHO; MUSTIN, 2017; RESENDE-MOREIRA *et al.* 2019; RATTER *et al.*, 2003; ROCHA; MIRANDA, 2014).

Estas áreas apresentam solos pobres em recursos, impulsionada por um gradiente de disponibilidade de água nutrientes, com condições ambientais diversas e desempenhando um forte efeito de filtragem e seleção das espécies que ocupam estes locais (MARDEGAN *et al.* 2009; SANTIAGO; MULKEY, 2004). Há diferenças ecológicas e fisiológicas entre essas formações abertas, como composição florística, formação de solos, gênese geomorfológica, drenagem e clima (CARVALHO; CARVALHO, 2012).

Dentre as formações savânicas, destaca-se a vegetação savanoide amazônica com fisionomia do tipo "savana-parque" (AMARAL *et al.* 2019), com a presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, casca espessa e folhas coriáceas, com evidências de queimadas em meio a um estrato herbáceo contínuo (CARVALHO; MUSTIN, 2017; RIBEIRO; WALTER, 2008). Solo com pH ácido, predominantemente arenoso, baixo teor de nutrientes como nitrogênio e fósforo, aluminizados com elevada concentração de argila e pouca matéria orgânica (MACHADO *et al.* 2004; MAGNUSSON *et al.* 2008; SOARES-FIHO *et al.* 2014).

As campinas apresentam forma de vegetação raquítica e esclerófila, predominantemente herbáceo-arbustiva que se desenvolvem sob solos arenosos em machas pequenas de baixa diversidade (FERREIRA, 2009; SILVEIRA, 2003; VICENTINI, 2004). São áreas caracterizados por apresentarem baixa produtividade e solo com elevado oligotrofismo e acidez (COSTA *et al.* 2020), com intenso déficit hídrico durante a estação seca (ADENEY *et al.* 2016; DAMASCO *et al.* 2013; MARDEGAN *et al.* 2009).

A restinga é a tipologia vegetacional que ocorre em faixas litorâneas arenosas de rápida infiltração e baixa retenção, caracterizadas por alta luminosidade e temperatura, ventos frequentes, sazonalidade, salinidade e acidez elevada, bem como escassez de nutrientes (ARAUJO *et al.* 2004; ASSIS *et al.* 2004; SCARANO, 2002; SCARANO *et al.* 2009). Na Amazônia, apresentam sete fisionomias que vão desde estrato herbáceo,

arbustivo e arbóreo movendo-se em direção ao interior do continente (LANE *et al.* 2008; SANTOS; BASTOS, 2014; SILVA *et al.* 2010).

Apesar da importância biológica das áreas abertas, estes ecossistemas são reconhecidamente frágeis, sensíveis a perturbações e estão constantemente ameaçados por fatores antrópicos (ROMÃO *et al.* 2017; MIRANDA *et al.* 2003). Dentre os processos responsáveis pela intensa modificação da paisagem e perda da cobertura vegetal original, destacam-se a ocupação desordenada para a construção civil, extração de areia e madeira nas campinas, turismo predatório nas restingas e pela ação do desmatamento e/ou queimadas para fins agropecuários nas áreas de savana (BONADIMAN, 2007; PIRES *et al.* 2006; SCHERER *et al.* 2005; TESSLER *et al.* 2005). Levando à redução da biodiversidade, alterações na fisionomia da vegetação e intensificando os efeitos das mudanças climáticas (ALMEIDA *et al.* 2016; AMARAL *et al.* 2019; CARVALHO; MUSTIN, 2017; FEARNSSIDE *et al.* 2013).

Neste trabalho o destaque é dado a *Curatella americana* L. (Dilleniaceae), popularmente conhecida como lixeira, caimbé, cajueiro-bravo ou sambaíba (ALEXANDRE-MOREIRA *et al.* 1999). Trata-se da única representante do gênero *Curatella* encontrado no Brasil, é apontada como de alto valor de importância ecológica e medicinal (FELFILI *et al.* 2002). Tem ampla dispersão nas áreas do Cerrado e, no Pará, ocorre em manchas disjuntas de savana entre as áreas de florestas úmidas (AMARAL *et al.* 2019). Além disso, teve seu primeiro registro de ocorrência nas restingas do litoral amazônico (AMARAL *et al.* 2016) e apresenta dispersão descontínua em campinas, ocorrendo em grandes populações em determinadas áreas e ausente em outras (CARVALHO, 2000; KISSMANN; GROTH, 1995).

Apesar da importância ecológica de *C. americana* no Cerrado e, atualmente, em tipologias abertas amazônicas, aparentemente poucos trabalhos relatam a caracterização estrutural e funcional da espécie. Dessa forma, a anatomia funcional comparativa entre indivíduos da mesma espécie em gradientes ambientais permite analisar quais os atributos funcionais estão ligados ao sucesso adaptativo e reprodutivo da espécie (NORBERG, 2004; VIOLLE; JIANG, 2009) e auxilia na compreensão dos processos evolutivos inerentes a esta flora na Amazônia (NALLEY *et al.* 2014; WALKER *et al.* 1999). Também contribui para o entendimento dos potenciais efeitos das mudanças climáticas e ambientais na vegetação de tais ecossistemas (BARNETT *et al.* 2007; CORNELLISSEN *et al.* 2003) e na descoberta de novos usos e aplicações para a diversidade biológica

(LITCHMAN; KLAUSMEIER, 2008; LOPES *et al.* 2015; REICH; CORNELISSEN, 2014; WEITHOFF *et al.* 2015).

Ao fornecer informações úteis acerca da suscetibilidade de uma comunidade vegetal à disponibilidade de recursos, estes estudos geram conhecimentos importantes para a modelagem dos processos ecossistêmicos sob condição de alterações ambientais (BERTILLER *et al.* 2006). Além de contribuir para a mitigação dos efeitos negativos de tais alterações sobre a biodiversidade (ROSADO; DE MATTOS, 2007; WRIGHT *et al.* 2004).

Entendendo que podem ocorrer variações nos atributos funcionais de plantas dependendo de sua necessidade fisiológica e que estas variam de acordo com o gradiente ambiental, este estudo avaliou se ocorre variações nos atributos morfológicos foliares e anatômicos dos ramos de *C. americana*. Testamos a hipótese de que as condições ambientais edáficas e climáticas influenciam os atributos de *C. americana*. Por isso, esperamos que:

(1) as condições edáficas sejam semelhantes entre campinas e restingas, com solos mais arenosos, apresentando baixa capacidade de retenção de água no solo, diferindo das savanas amazônicas, com solos mais ácidos, elevadas concentrações de alumínio e maior capacidade de retenção de água no solo, devido sua textura argilosa. Esperamos que nas áreas mais arenosas os indivíduos estejam mais associados às características anatômicas, para manter uma eficiência no transporte de água. Já na savana, esperamos que os indivíduos estejam mais associados às características morfológicas, indicando o elevado grau de xeromorfismo nesta tipologia.

(2) espera-se que *C. americana* apresente variação em seus atributos morfológicos com variações maiores e mais expressivas nas folhas do que na madeira, pois necessita-se de um menor investimento em carbono para a construção de seus tecidos quando comparado à madeira. Devido às características edáficas limitantes nas tipologias abertas amazônicas, esperamos que a espécie seja altamente tolerante ao estresse (S).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estratégias de espécies vegetais e a influência do ambiente

Os ambientes de vegetação savanoide, campina e restinga são caracterizados por apresentarem condições de estresse hídrico e nutricional. Deste modo, as espécies que

são aptas a colonizar estes ambientes possuem um conjunto de características que as permitem se desenvolver nestes locais (GUIMARÃES; BUENO, 2016; PEREIRA *et al.* 2009; RÔÇAS *et al.* 2001; SCARANO, 2002).

O uso de gradientes ambientais naturais, os quais variam sistematicamente em relação ao clima ou a outras variáveis ambientais, tais como topografia, fertilidade e textura dos solos, tem se mostrado como uma ferramenta útil para auxiliar a compreender os mecanismos de controle abiótico sobre os processos dos ecossistemas (ACKERLY *et al.* 2000). Os fatores edáficos são os que mais regem a dinâmica ambiental nas áreas abertas, tais como profundidade efetiva, presença de concreções no perfil, proximidade à superfície do lençol freático, drenagem e fertilidade são fatores determinantes dessas fitofisionomias (BRUM *et al.* 2017; HARIDASAN, 2000; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012).

As condições de pobreza química dos solos e grandes oscilações do nível freático parecem selecionar as espécies mais adaptadas a estas características, favorecendo a dominância de uma ou poucas espécies (RICHARDS, 1952). Isso porque, em ambientes como os de campina e restinga, ocorre o afloramento do lençol freático ou a aproximação da superfície do solo durante o período chuvoso, resultando na falta de oxigênio durante esta estação (VICENTINI, 2004). Já no período mais seco do ano, é comum ocorrer déficit hídrico, pois a textura arenosa dos solos confere a estes ambientes baixa capacidade de retenção de água; o lençol se torna muito profundo e a alta porosidade do solo inibe o fluxo ascendente da água (PAROLIN *et al.* 2010; SILVEIRA, 2003).

Assim, as taxas metabólicas, bem como a capacidade das espécies de sobreviver a estas condições, dependem de adaptações tanto para condições de saturação quanto de escassez hídrica (PAROLIN *et al.* 2010). Durante o período seco, ou menos chuvoso, quando as savanas e as campinas estão sujeitas à escassez hídrica, a presença de biomassa seca e de herbáceas altamente inflamáveis torna esses ecossistemas fortemente suscetíveis a incêndios (PRANCE; SHUBART, 1978).

Características morfológicas, como os atributos foliares e caulinares, podem revelar os *trade-offs* das espécies para lidar com os fatores limitantes (WESTOBY *et al.* 2002). Como importantes ajustes nas plantas em resposta à heterogeneidade ambiental ocorrem nas folhas, o uso de atributos foliares relacionados ao desenvolvimento vegetal, à assimilação de nutrientes e a forma de obtenção de recursos (ACKERLY *et al.* 2000) têm-se mostrado bons descritores de processos em vários níveis de organização biológica (BUSSOTTI *et al.* 2000; VALLADARES *et al.* 2000; WRIGHT; WESTOBY, 2003).

A estrutura e organização da lâmina foliar afetam os processos de regulação e a magnitude dos fluxos foliares de água e CO₂. Já alterações no tamanho e na forma da lâmina foliar, bem como seu grau de esclerofilia, são características que estão comumente associadas com a história de vida, distribuição da espécie e requerimentos de recursos pelas plantas (BIERAS; SAJO, 2009; EITEN, 1977; METCALFE; CHALK, 1950) e, portanto, estão sob forte pressão de seleção.

A escassez de nutrientes dos solos nestas fitofisionomias do estudo faz com que em algumas espécies haja maior investimento em folhas em comparação ao caule, resultando em indivíduos de baixa estatura (COOMES; GRUBB, 1996). Este *trade-off* se deve, em grande parte, ao fato de espécies que habitam solos oligotróficos alocarem grande parte de seus recursos na defesa contra herbivoria, em detrimento de seu crescimento (FINE et al., 2004; FINE et al., 2006). Este investimento em defesa contra herbivoria pode ser justificado devido ao fato de que, em ambientes pobres em nutrientes disponíveis no solo, substituir folhas que foram perdidas é muito mais dispendioso do que evitar a perda delas (STROPP, 2011).

Ainda em relação aos atributos foliares, podem ocorrer adaptações/respostas fenológicas (*e.g.*, deciduidade), estruturais (*e.g.*, redução da área foliar, suculência) e bioquímicas (*e.g.*, metabolismo CAM) (TING, 1971). Em ambientes com estresse hídrico a redução da área foliar será vantajosa uma vez que irá diminuir a perda de água por evaporação (LAMBERS *et al.* 2008; ORIANIS; SOLBRIG, 1977). Já o investimento em grandes áreas foliares deve favorecer a competição por luz, mas limitar a capacidade das plantas tolerarem ambientes sob estresse hídrico (FALSTER; WESTOBY, 2003; GIVNISH, 1987).

Já os atributos caulinares, como a densidade da madeira, podem refletir um *trade-off* entre a eficiência de condutividade hidráulica e segurança hidráulica (resistência à cavitação) para muitas comunidades vegetais (HACKE *et al.* 2001; WESTOBY; WRIGHT, 2006). No entanto, muitas espécies apresentam baixa eficiência, baixa segurança e estão, em sua maioria, associadas com elevada densidade de madeira, menor área folha-seiva-madeira e menor estatura (GLEASON *et al.* 2016). O investimento em densidade da madeira, assim como as baixas taxas fotossintéticas nos períodos de seca e alagamento implicam em baixas taxas de crescimento (WORBES *et al.* 1992).

O investimento em madeira de maior densidade ajuda a prevenir danos no caule e galhos, o que consiste em uma importante adaptação a ambientes com limitação nutricional, onde há pouca energia disponível para eventual rebrota ou substituição de

tecido danificado. Por essa razão, a elevada densidade da madeira de espécies em áreas de vegetação savanóide e campinas é outra característica que as difere das espécies de floresta de terra firme, por exemplo, cuja densidade é mais baixa (CHAVE *et al.* 2009).

Plantas de ambientes secos e distróficos tendem a apresentar características associadas a uma maior conservação destes recursos, investindo em folhas mais longevas, com maior acúmulo de matéria seca do que nutrientes, assim como na redução da capacidade fotossintética (REICH *et al.* 2007; ROSADO; DE MATTOS, 2010; WRIGHT *et al.* 2004). Por sua vez, plantas que se desenvolvem em condições opostas normalmente mostram-se mais produtivas, resultado de suas taxas fotossintéticas elevadas e das maiores concentrações foliares de nutrientes, associadas ao menor investimento em matéria seca e à redução da longevidade foliar (REICH *et al.* 2003; WESTOBY; WRIGHT, 2006; WRIGHT *et al.* 2005, 2007).

Isto porque a magnitude destas alterações é capaz de afetar desde a composição e o desempenho ecofisiológico de diferentes indivíduos/espécies vegetais (AERTS; CHAPIN, 2000) até as propriedades e o funcionamento do ecossistema (DÍAZ *et al.* 2004; LAVOREL; GARNIER, 2002; OYARZABAL *et al.* 2008). Sendo assim, nem sempre as respostas dos organismos a um determinado ambiente são as melhores soluções para todos os problemas. Nesse sentido, cada contexto ambiental terá suas demandas conflitantes e exigirá respostas e estratégias específicas para cada espécie dentro do ecossistema (LAMBERS *et al.* 2008).

2.2 *Curatella americana* L.

O gênero *Curatella*, com apenas um representante no Brasil, a *Curatella americana* L., característica das savanas Neotropicais, ocorre do sul do México até a Bolívia (DUARTE *et al.* 2011; KUBITZKI, 2004; LORENZI, 1998; RIZZINI, 1992). Presente em Cuba, Suriname, no Estado de Roraima, na parte norte da Bacia Amazônica e em disjunções situadas no interior da bacia Amazônica. Sua provável origem é na Australásia, pois existe um homólogo asiático sugerindo que a espécie neotropical seja um vicariante daquele genótipo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012).

É uma planta semidecídua, heliófita, seletiva xerófita, característica de terrenos secos do cerrado (LORENZI, 2002). É pertencente a família Dilleniaceae. No Brasil, a família está representada por cinco gêneros e cerca de quarenta espécies. No bioma

cerrado, a família é representada por várias espécies de arbustos, subarbustos eretos ou escandentes, lianas lenhosas, em diversas fitofisionomias, sobretudo nas de cerrado mais aberto (SANTOS, 2010).

Sua etimologia vem de "*curatus*" (trabalhado), pelo uso das folhas, como lixas, no polimento de arcos e, "americana", originária das Américas e "lixeira": por ter folhas ásperas como lixa (SILVA JÚNIOR *et al.* 2005). É popularmente conhecida como lixeira, sambaíba, cajueiro-bravo, cajueiro-do-mato, cambarba, caimbé, marajoara, pentieira, sabeiba e sobro (ANDRADE, 2008).

A espécie apresenta ampla distribuição no bioma Cerrado e dispersão descontínua em savanas amazônicas, com alguma penetração no Pantanal (KISSMANN; GROTH 1995; RATTER *et al.* 2003; BRIGDEWATER *et al.* 2004). A espécie é característica de ambientes com condições distróficas, em solos arenosos ácidos com baixo conteúdo de nutrientes (FURLEY; RATTER, 1988). Contudo, sua distribuição é fortemente influenciada pela altitude, sendo geralmente abundante em áreas de menor altitude, como a Baixada Cuiabana e mais rara em áreas de maior altitude, como o Cerrado do Distrito Federal (FELFILI *et al.* 1992). Segundo Tavares (1964), essa espécie ocorre no Nordeste oriental, associada aos tabuleiros costeiros que englobam as savanas, cuja fisionomia e flora são próximas dos cerrados do Brasil Central (RIBEIRO, WALTER, 2008).

A espécie pode medir até 12 m de altura, tronco variando de 40-50 cm de diâmetro com casca descamante em lâminas rígidas e sistema de raízes que se ajusta às condições ambientais. A raiz principal pode chegar a 20 m de comprimento, enquanto raízes laterais podem alcançar 6 m de comprimento (FOLDATS; RUTKIS, 1975). As folhas são alternas, ovaladas, de margem subdentada, com até 26 cm de comprimento, muito ásperas, principalmente na face ventral devido ao acúmulo de sílica, suavemente torcidas, quebradiças, de cor verde-claro quando jovens e verde escuro quando completamente expandidas (LORENZI, 1992) com tempo de vida médio de 8 meses (DALMOLIN *et al.* 2015), pecíolos com ampla inserção no caule (BARROSO *et al.* 1999). As flores são hermafroditas, pequenas, brancas, aromáticas, medem cerca de 5 mm de comprimento, distribuídas de 10 a 20 em inflorescências do tipo racemo ou tirso curto. O fruto é capsula sincárpica ovoide seca e deiscente, com cerca de 2,5 cm de comprimento (LORENZI, 2002) e sua casca é grossa acinzentada e se despreja em placas (DALMOLIN *et al.* 2015).

Floresce a partir do final do mês de agosto, junto com o surgimento de novas folhas, prolongando-se até outubro e os frutos amadurecem em outubro a novembro (DUARTE *et al.* 2011; LORENZI, 2002) e são produzidos em grande quantidade

(GUSSON *et al.* 2008; OLIVEIRA *et al.* 2012). A espécie produz anualmente grande quantidade de sementes no período de outubro a dezembro com baixo potencial germinativo, o que dificulta a colheita e produção de mudas. As sementes são dispersas por pássaros, além de formigas e abelhas (LORENZI, 2002).

No período de um mês durante a estação seca, geralmente entre julho e outubro, dois grupos de folhas estão presentes ao mesmo tempo, uma cerca de 7-8 meses de idade (folhas velhas), que se desenvolveu durante a temporada anterior e outro, que foi desenvolvido durante a atual temporada, denominado de folhas jovens (DALMAGRO *et al.* 2013). As folhas são escleromórficas com a epiderme foliar unisseriada revestida de tricomas de sílica, o que confere aspereza à superfície (OLIVEIRA; CASTRO 2002). Suas folhas dotadas de sílica nas paredes celulares atuam como barreira física contra herbívoros, conferindo uma maior resistência à ação de insetos, além de proteger a planta da perda excessiva de água (ANTUNES JR. *et al.* 2011; TANNER; KAPO, 1982;). O metabolismo C₃ da espécie foi revelado por Ferreira *et al.* 2015.

Dalmolin *et al.* (2015) aponta que a espécie apresenta bom desenvolvimento a pleno sol com maiores número de folhas, elevada taxa fotossintética, aumento da condutância estomática e da taxa transpiratória, além de Índice de Qualidade de Dickson (IQD), podendo ser introduzida juntamente com as espécies pioneiras em projetos de revegetação de áreas.

C. americana é uma espécie adaptada a ambientes xéricos, apresentando propagação vegetativa frequente, brotações subterrâneas e xilopódios, permanecendo ativa em períodos de estiagem e resiliente após eventos extremos, como o fogo (BARBOSA; FEARNside, 2004; FOLDATS; RUTKIS, 1975). Características morfológicas como: folhas coriáceas, cutículas espessas, tricomas bem desenvolvidos, estômatos crípticos, lenho muito duro, casca espessa (protegendo os meristemas) asseguram seu estabelecimento e sucesso nestas áreas com recursos limitantes (água e nutrientes) (DALMOLIN *et al.* 2015; MENDONÇA, 2011; VICENTINI, 2004). Suas folhas eretas também evitam a transpiração e contêm altos níveis de fenólicos e outros compostos secundários (JANZEN, 1974; PROCTOR, 1999).

Segundo Felfilli *et al.* (2002), *C. americana* está entre as espécies do cerrado com maior índice de valor de importância ecológica e medicinal, apresentando propriedades cicatrizantes, antissépticas e hipoglicemiantes, sendo bastante utilizada na medicina popular para o tratamento de aftas, dor de cabeça, intoxicação, câncer, artrite, agravos do diabetes e para problemas estomacais e pulmonares (AMOROZO, 2002; LUZ *et al.* 2001;

MEDEIROS *et al.* 2013; SILVA JÚNIOR *et al.* 2005), além de atuar no tratamento de úlceras e inflamações (ALEXANDRE-MOREIRA *et al.* 1999; VILAR *et al.* 2009). Também foi verificado que o extrato de suas folhas contém metabólitos secundários com potencial herbicida e poder inibitório na germinação de sementes de *P. maximum* Jacq. (Capim-colonião) (BARBOSA *et al.* 2008).

A utilização das folhas de *C. americana*, quanto à sua biogequímica, mostrou-se eficiente para a definição de áreas de ocorrência de ouro, de acordo com Resende e Pinho (2011). A partir da análise de ouro (Au) e prata (Ag) em raízes e folhas de *C. americana* L. para delimitar áreas próximas de depósitos auríferos e favoráveis à exploração de ouro na Baixada Cuiabana. Não há produção comercial de lixeira, entretanto, devido às grandes populações existentes da espécie percebe-se um grande potencial extrativista (REVILLA, 2001) e possibilidade de aproveitamento da planta na indústria como fonte de taninos (BERNAL; CORREA 1991).

As tipologias savana gramíneo-lenhosa, savana parque e savana estépica-parque foram avaliadas por Barbosa (2001) e observou-se que a biomassa de *C. americana* L. somada à de *B. crassifolia* (L.) H.B.K. e *B. coccolobifolia* Kunth. representam mais de 90% do estrato arbóreo quando os ecossistemas são conjugados a partir de uma média ponderada pela área de cada um. Este resultado aborda as observações dos trabalhos fitofisionômicos inferindo uma grande importância ecológica, principalmente, para a espécie *C. americana* que foi a mais representativa, inclusive como espécie característica da tipologia “savana parque” (BARBOSA; MIRANDA, 2005).

Nos estudos de referência sobre vegetação de restinga realizados em diferentes trechos do litoral amazônico não há citação para *Curatella americana* L. (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS *et al.* 1995; 1996; COSTA-NETO *et al.* 1996; LISBOA *et al.* 1993; SANTOS; ROSÁRIO, 1988; SANTOS *et al.* 2001; SILVA *et al.* 2010). Na base de dados do SpeciesLink consta, entretanto, uma coleta da espécie (HBRA: 4103) realizada na mesma faixa litorânea (distante cerca de 3 km) do material coletado por Amaral *et al.* (2016) nas restingas da na faixa oceânica da Ilha do Marajó. As duas coletas, juntas, constituem, portanto, o primeiro registro de *C. americana* em vegetação de restinga no litoral da Amazônia.

2.3 Savana Amazônica

O Cerrado brasileiro é a maior área de savana da América do Sul (ANACHE *et al.* 2019) e, de acordo com Lehmann *et al.* (2014), essa formação vegetacional está entre as áreas com maior riqueza de espécies do mundo. É considerado um dos 34 hotspots mundiais, com cerca de 11 mil espécies de plantas vasculares, o que compreende cerca de 30% da biodiversidade brasileira (MENDONÇA *et al.* 2008; ZANELLA, 2013). Logo, o cerrado é a savana mais rica e diversificada em espécies, com alto grau em biodiversidade (GUIMARÃES, 2014).

A designação dos termos savana e cerrado é análoga e corresponde a um tipo de vegetação com ocorrência em toda a zona neotropical, prioritariamente no Brasil Central (AMARAL *et al.* 2019). A classificação oficial dos tipos de vegetação do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012) adota, entretanto, o termo ‘savana’ como prioritário e ‘cerrado’ como sinônimo regionalista.

Na Amazônia, as áreas savânicas (ou vegetação savanóide) estão encravadas de tamanhos variados em meio à floresta de terra-firme, ocorrendo nos estados de Rondônia, Roraima, Amazonas, Pará e Amapá, ocupando uma extensão de aproximadamente 267.164 km² (BRIDGEWATER *et al.* 2004; CARVALHO; MUSTIN, 2017; PRANCE, 1996; RATTER *et al.* 2003).

O clima, o solo, a hidrologia, a geomorfologia, o fogo e o pastejo são os principais fatores que determinam estas savanas (COLLINSON, 1988; MISTRY, 2000). Segundo Cole (1986), o clima e o solo exercem os efeitos mais significativos na fisionomia e na distribuição das savanas.

Para Machado *et al.* (2004), a riqueza de espécies está ligada aos diversos tipos de vegetação presentes nesse complexo vegetacional os quais, de acordo com Ribeiro e Walter (2008) dividem-se em gradientes fisionômicos que variam de formações campestres (compreendendo as espécies herbáceas), formações florestais (componente arbóreo bem desenvolvido) e formações savânicas (estrato herbáceo-arbustivo abundante e estrato arbóreo esparsos) em contato com a floresta e a costa atlântica (AB’SABER, 2001; GOODLAND, 1971).

Apesar de sua enorme riqueza de espécies de fauna e flora, incluindo inúmeros endemismos, as savanas da Amazônia têm sido pouco estudadas em relação ao Cerrado (PLOTKIN; RIDING, 2011). Foram encontrados apenas 136 estudos das savanas da Amazônia, realizados ao longo de 80 anos, abrangendo nove dos principais grupos taxonômicos (CARVALHO; MUSTIN, 2017).

Para o Estado do Pará, não há uma faixa contínua de cerrados, apenas frequentes manchas de vegetação, podendo até incluir ilhas de mata em sua zona de transição (CARVALHO; MUSTIN, 2017). Estas manchas geralmente têm formas irregulares e são dificilmente localizáveis em mapas (PIRES, 1973).

Pires & Prance (1985) explicam que as savanas amazônicas são campos semelhantes aos que ocorrem no Brasil Central, como vistos em Joanes e Currealinho, município do Marajó, Pará. As “Savanas da ilha do Marajó” ou campos alagados foram classificados no Workshop 98, em Brasília, sobre Bioma Cerrado e Pantanal na categoria de alta importância biológica e recomendada prioritariamente à realização de inventários biológicos. Apesar de se situar na Amazônia, esta área foi tratada como sendo uma área disjunta do bioma Cerrado na Amazônia e considerada prioritária por apresentar uma fauna rica, com espécies endêmicas, e por estar sujeita a pressão antrópica, tanto pela expansão da agropecuária, como pela construção de hidrovia.

As áreas de savana Amazônica tratam-se de uma vegetação não-florestal que ocorre sobre solos pouco a bem drenados, geralmente arenosos e aluminizados, que inclui desde tipologias savânicas típicas até formações caracteristicamente campestres (AMARAL *et al.* 2019). A tipologia savana foi subdividida em quatro subtipos de vegetação: florestada; arborizada; savana-parque; e gramíneo-lenhosa (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012).

Fisionômica e floristicamente é similar ao Cerrado (*lato sensu*), com flora mais pobre e características xeromórficas, com plantas que resistem bem ao estresse hídrico e sujeitas a queimadas (CONCEIÇÃO *et al.* 2007; MAGNUSSON *et al.* 2008; RAPINI *et al.* 2008). Trata-se de uma vegetação predominantemente de climas quentes e úmidos, caracterizada, sobretudo, por um estrato herbáceo contínuo, com predomínio de Poaceae e Cyperaceae e ocorrência de arbustos e pequenas árvores tortuosas, de cascas grossas, folhas grandes (raramente decíduas e fortemente adaptadas ao fogo) (AMARAL *et al.* 2019). Além dessas formas de vida, há a presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, casca espessa e folhas coriáceas, com evidências de queimadas (ROMARIZ, 2012).

Os solos destas áreas são profundos, com pH ácido, baixo teor de nutrientes como nitrogênio e fósforo e capacidade de troca catiônica, aluminizados e pouca matéria orgânica (FAGERIA; SOUZA, 1995; RIBEIRO; WALTER, 2008). Considerando a pobreza em nutrientes destes solos, torna-se essencial a eficiente ciclagem de nutrientes com uma quantidade elevada de serapilheira com qualidade. Sob condições de atividade

biológica adequadas, a mineralização e absorção dos nutrientes possibilitam o eficiente uso dos minerais essenciais para a manutenção desse ecossistema, que são escassos nestes solos (WALTER, 2006).

Eventos de fogo e registros de incêndios são comuns na maioria das savanas do mundo (GILLON, 1983; LACEY *et al.* 1982), chegando-se a imputar savanas como resultantes diretas do fogo. Pode-se afirmar que o fogo influencia a distribuição e a composição florística das savanas, afetando a estrutura dos trechos de vegetação, agindo positivamente sobre grupos de espécies adaptadas e negativamente nas espécies não adaptadas a ele (MOREIRA, 1996, 2000). Além disso, eventos de fogo afetam a ciclagem de nutrientes, com consequências sobre a vegetação. No entanto, esta flora evoluiu junto com as queimadas naturais provocadas pelos raios e assim, ao longo dos milênios, adaptou-se a este fator ambiental natural (DURIGAN *et al.* 1994; HOFFMANN, 1996; PIRES, 1973;).

Segundo Soares-Filho *et al.* (2014), o Cerrado possui apenas 41% de sua vegetação original; com uma pequena porcentagem, cerca de 7% de sua cobertura está sob proteção legal. Alguns cenários preveem que o Cerrado perderá toda sua vegetação original até 2030 (MACHADO *et al.* 2004; RESENDE-MOREIRA *et al.* 2019).

Na Amazônia, a savana é a formação de terra firme mais ameaçada pelas ações antrópicas. Sua rápida degradação é facilitada pelas queimadas com fins agropecuários, na conversão de terras para agricultura e plantações em larga escala, no aumento da infraestrutura e pelos incêndios não controlados que provocam mudanças na fisionomia da vegetação (AMARAL *et al.* 2019; BARBOSA *et al.* 2007; CARVALHO; MUSTIN, 2017; RESENDE-MOREIRA *et al.* 2019).

A degradação dessa formação vegetacional coloca em risco sistemas naturais e humanos, pois compromete as funções ecossistêmicas que promovem o bem-estar e a manutenção da vida (COSTANZA *et al.* 1997). Severamente ameaçados, o cerrado e as savanas são consideradas áreas prioritárias para a conservação (CARVALHO; MUSTIN, 2017; MYERS *et al.* 2000).

2.4 Campina Amazônica

As campinas, ou vegetação de areia branca, são habitats semelhantes a ilhas geralmente espalhados em uma matriz da terra-firme que apresenta solos argilosos contrastantes (ANDERSON, 1981; HUBER, 1988; PRANCE, 1996), misturados por

florestas inundadas anualmente (KUBITZKI, 1989; WITTMANN *et al.* 2004). Este tipo de vegetação ocorre predominantemente em áreas fronteiriças da Colômbia e Venezuela, nas Bacias dos Rios Negro e Branco, e sob a forma de disjunções por toda a Amazônia, adaptado ao solo Espodossolo (COSTA *et al.* 2020; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012), ocupando uma área de aproximadamente 64.000 km² (BRAGA, 1979; MARDEGAN *et al.* 2009).

No geral, estas áreas abertas abruptas Amazônicas são caracterizadas por apresentarem baixa produtividade, baixa diversidade, endemismo elevado e solo com elevado oligotrofismo e acidez, quando comparados às florestas de terra firme (PRANCE; SCHUBART 1978; ANDERSON, 1981). Uma das características que diferenciam as campinas das savanas amazônicas diz respeito ao substrato ocupado, onde campinas são um “tipo de vegetação mais especializadas a colonizar ambientes edáficos arenosos, fortemente oligotróficos e submetidos a estresse hídrico severo” (FERREIRA, 2009).

Os solos das campinas estão ainda em formação, a partir de dunas ou manchas de areia que substituíram antigos leitos de rios (ANDERSON, 1981; SILVEIRA, 2003). Ocorrem sob solos arenosos oligotróficos com alta acidez, em alguns casos completamente inundados devido a um lençol freático raso, alternando com intenso déficit hídrico durante a estação seca (ADENEY *et al.* 2016; DAMASCO *et al.* 2013; VICENTINI, 2004).

Além das restingas, as campinas e campinaranas são formações que ocorrem sob areia branca e, muitas vezes, em forma de ilhas em meio a uma matriz de floresta de terra-firme (FERREIRA, 2009; PRANCE, 1996). A parte central destas ilhas, onde a vegetação é mais aberta, frequentemente coincide com o fundo de suaves depressões, como verificado por Bueno (2009). Do fundo para as bordas destas depressões ocorrem variações nas características físico-químicas do solo (BUENO, 2009; NASCIMENTO *et al.* 2004), assim como mudanças no tempo em que a vegetação fica sujeita ao alagamento, sendo que as partes mais baixas ficam mais meses por ano alagadas e este tempo diminui em direção às partes mais altas (FERREIRA, 1997).

Estas machas pequenas de vegetação de areia branca e pouco extensas, formam uma matriz herbácea baixa e rala onde salientam arbustos isolados variando entre 1 a 5 metros de altura com vegetação raquítica que sugerem estresse fisiológico (MARDEGAN *et al.* 2009; COSTA *et al.* 2020). Apresentam biomassa pequena a média, ocupando terrenos arenosos de areia branca onde a vegetação alta é interrompida, sob forte influência das serapilheiras ricas em N (FERREIRA, 2009; MEDINA *et al.* 1990).

A vegetação de campina tem fases estruturais que variam de tipos de vegetação completamente abertos a fechados e a separação de fisionomias às vezes é difícil devido a várias características compartilhadas entre elas (ANDERSON, 1981; PIRES; PRANCE 1985). As plantas destas áreas apresentam certo grau de esclerofilia, tortuosidade de ramos e galhos, além de engrossamento das cascas, xeromorfismo, raízes profundas e resistência ao fogo (PIRES, 1973; SILVEIRA, 2003).

Apresentam flora especializada, com espécies, gêneros e famílias de plantas que, normalmente, ocorrem em outros ambientes, ou não (MARDEGAN *et al.* 2009). É comum espécies serem descritas como espécies diferentes por apresentarem diferentes formas de vida nestes ambientes. Podem ser encontradas plantas com aspecto arbustivo, pertencentes até a mesma espécie que, na mata geral, aparecem como árvores grandes e cipós robustos (FERREIRA, 2009). Mesmo tendo uma longa distância entre os locais em que as campinas acontecem, existem semelhanças entre os ambientes, uma dessas semelhanças mais significativas é que duas espécies de plantas dominam duas regiões que são opostas no mapa, a exemplo de *Pagamea guianensis* e a *Humiria balsamifera* (SILVEIRA, 2003).

Apresentam ainda um grande número de endemismos muito particulares de dispersão restrita (PIRES, 1966) com famílias frequentes, como: Arecaceae, Bromeliaceae, Clusiaceae, Humiriaceae, Marantaceae, Meliaceae e Rapateaceae (FLORA DO BRASIL, 2020). Ferreira (2009) destaca como gêneros de maior dominância nestes ecossistemas, em ordem decrescente, *Humira*, *Pagameae*, *Myrcia*, *Byrsonimia*, *Eugenia*, *Cybianthus*, *Clusia*, *Blepharandra*, *Pachira* e *Tapirira*. Algumas espécies são comuns na maioria das campinas pouco dependendo de sua localização, portanto podem ser utilizadas como indicadoras destes ecossistemas, como *Humiria balsamifera* (Humiriaceae), *Pagamea guianensis* (Rubiaceae), *Protium heptaphyllum* subsp *ulei* (Burseraceae), *Clusia nemorosa* (Clusiaceae) e *Ouratea spruceana* (Ochnaceae). Nos locais com lençol freático superficial, abundam espécies de Eriocaulaceae, Rapateaceae e os gêneros: *Drosera*, *Xyris*, *Utricularia*, *Cephalostemon*, *Cleistis*, *Habenaria* (FERREIRA, 2009). O alto endemismo regional dessas paisagens aponta para sua extrema importância na conservação da biodiversidade, reforçando a necessidade de políticas eficazes de conservação que considerem as particularidades de cada paisagem, bem como a história biogeográfica desse complexo e único ecossistema (COSTA *et al.* 2020).

À medida que um maior número de matéria orgânica torna-se disponível, há uma perfeita gradação entre as campinas baixas, campinas altas, terrenos de transição entre as campinas e a mata alta de terra firme marcados pela acentuação gradativa do porte da vegetação, de maneira a conquistar lentamente as areias extremamente pobres a partir do incremento desta matéria orgânica. Um processo lento e progressivo de enriquecimento com matéria orgânica, vai tornando estes solos gradativamente mais capazes de suportar uma massa de vegetação mais pesada, acarretando em formação de campinaranas com vegetação de porte maior e aproximando-se da floresta de terra firme (PIRES, 1966, 73). São no geral formações fortemente influenciadas pelos ciclos sazonais e variações nos níveis do lençol freático (SCHAEFER *et al.* 2009).

Mardegan *et al.* (2009) explica que vários fatores possíveis parecem estar relacionados à origem das vegetações de campina, incluindo alta acidez do solo e presença de compostos fenólicos (PROCTOR, 1999), períodos intensos de seca (PIRES; PRANCE, 1985), baixa disponibilidade de nutrientes (JORDAN, 1985), assim como provável intensa perturbação humana. No entanto, sua origem permanece incerta e é improvável que um único fator causal atue sozinho (PRANCE; SCHUBART, 1978).

A literatura sobre esse tipo de vegetação é farta de incertezas e controvérsias, bem como são poucos os estudos que se preocupam a relacionar as variações, em termos de estrutura e composição florísticas das campinas e campinaranas as características ambientais (ADENEY *et al.* 2016; OLIVEIRA; DALY, 2001). Pouco se sabe também sobre a evolução e dinâmica dessas tipologias e como estas questões se relacionam com os processos geológicos, pedogenéticos e morfogenéticos. Assim, a fragmentação do conhecimento e escassez de trabalhos interdisciplinares que buscam elucidar estas relações são fatores limitantes para a melhor compreensão desses ecossistemas importantes e perturbados na Amazônia (COSTA *et al.* 2020; GUIMARÃES; BUENO, 2016).

2.5 Restinga Amazônica

A restinga amazônica trata-se de um complexo de vegetações que ocupa as planícies litorâneas do Brasil desde a Amazônia até o Sul do Brasil, ocorrendo sobre sedimentos arenosos pleistocênicos, holocênicos de origem marinha e quartenária (ARAUJO; HENRIQUES, 1984; SILVA, 1990). Ocorrem ao longo de aproximadamente

70% da costa brasileira que excede 8.000 km de extensão (GUEDES *et al.* 2006; TESSLER; GOYA, 2005).

No litoral amazônico ou equatorial, que abrange os Estados do Pará, Amapá e Maranhão cerca de 40% dos 1.500 km² de costa da Amazônia pertencem ao estado do Pará (SUGUIO; TESSLER, 1984). As restingas amazônicas são encontradas esporadicamente nas cordilheiras e praias das dunas entre a Baía de Marajó (Pará) e a Baía de São Marcos (Maranhão) (SEELIGER, 1992). Os trechos mais extensos e representativos de vegetação de restinga na Amazônia encontram-se nas praias de Algodual, Crispim, Salinas e Ajuruteua, onde ocorrem todas as formações vegetais associadas a esta tipologia vegetal (AMARAL *et al.* 2008; PIRES, 1973).

No Pará, a cobertura vegetal nas restingas encontra-se distribuída entre praias, cordões arenosos, dunas e depressões, e se diferencia de acordo com o estágio sucessional em estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo (SANTOS; BASTOS, 2014). Inclui desde tipologias abertas, herbáceo-arbustivas, localizadas próximas às praias, até florestas com árvores altas em direção ao interior do continente, ou arbustos sobre dunas litorâneas (FLORA DO BRASIL, 2020; SILVA 1999).

Na Amazônia, apresentam sete fisionomias: a formação vegetal *Halófila* (halo = sal, fila = afinidade), que encontra-se mais próxima à praia, é influenciada diretamente pela ação do mar e sua vegetação está adaptada ao alto grau de salinidade (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014). A formação *Psamófila reptante* (Psamo = areia, fila = afinidade, reptante = que se arrasta), ocorre sobre dunas, fora da ação das ondas do mar com espécies de hábito rastejante (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014). A formação *Brejo herbáceo* localiza-se nos espaços interdunares, em depressões, permanecendo inundado geralmente no período de maior intensidade pluviométrica e marcado pela sazonalidade da composição florística, onde há uma variação no número de espécies entre o período seco e período chuvoso (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014). A *Vegetação sobre dunas* é uma formação constituída de dunas sem cobertura vegetal, denominadas de dunas móveis e dunas com cobertura vegetal, de tamanhos variados, chamadas de dunas fixas (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014). A fisionomia *Campo entre dunas* localiza-se na região plana entre as dunas intermediárias e interiores, os quais apresentam-se sem vegetação ou com vegetação campestre e caracterizado pela presença de vegetação herbácea com depressões alagáveis no período chuvoso, formando lagos temporários e permanentes (AMARAL *et al.* 2008;

BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014). A *Formação arbustiva aberta* é um tipo vegetacional organizado em moitas, dispersas esparsamente com tamanhos variados, constituídos por espécies que atingem até 5m de altura, plantas de hábito herbáceo, arbustivo e até arbóreo (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014). A fisionomia *Floresta de restinga* localiza-se em áreas planas ou sobre dunas, possui uma baixa riqueza de espécies e abundância de indivíduos, é composta por arbustos e árvores de 3 a 5m de altura, com espécies que chegam até 10m de altura. Esta zona de transição faz limite com manguezais e vegetação secundária também chamada de capoeira (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014).

Existe uma nítida zonação de formações vegetais de restinga dentro da planície litorânea, com uma delimitada sequência de ocorrência das formações vegetais (SILVA *et al.* 2010). As formações vegetais mais próximas à praia apresentam uma dinâmica intensa, regulada pela ação de marés, ondas e ventos. As mais internas e que apresentam uma cobertura vegetal herbácea predominante encontram-se fortemente reguladas pelo regime pluviométrico e variação do lençol freático, o que lhes confere uma forte sazonalidade de espécies, enquanto que as de porte arbóreo são reguladas, mais intensamente, pelas condições edáficas do solo (AMARAL *et al.* 2008).

A vegetação da restinga desempenha um papel ecologicamente importante na estabilização das dunas ativas, reduzindo o movimento da areia (TSOAR; ARENS 2003; PFADENHAUER, 1978). Quase metade (48%) das espécies de plantas são predominantemente herbáceas, enquanto 1, 17 e 21% são palmeiras, árvores e arbustos, respectivamente; as demais espécies são lianas (11%) e epífitas (2%) (SILVA *et al.* 2010).

As ervas predominam como principal forma de vida entre as formações vegetais, à exceção da floresta de restinga, onde as árvores são predominantes. Plantas epífitas são pouco comuns, correspondendo à menor representatividade de forma de vida, geralmente com representantes das famílias Araceae e Orchidaceae, são representativas as espécies: *Anthurium sinuatum*, *Philodendron acutatum*, *Philodendron grandifolium*, *Catasetum discolor*, *Encyclia granitica* e *Epidendrum nocturnum* (AMARAL *et al.* 2008).

O número total de espécies relatadas para as restingas no litoral do Pará é de 411, de 90 famílias de plantas (AMARAL *et al.* 2008). Famílias frequentes são Arecaceae, Lauraceae, Myrsinaceae, Myrtaceae e Bromeliaceae (FLORA DO BRASIL, 2020) e a maior riqueza de espécies é encontrada na família Fabaceae (53 espécies), seguida por Poaceae (39), Cyperaceae (35), Rubiaceae (20) e Myrtaceae (19). Fabaceae (20) e

Myrtaceae (≥ 17) apresentaram o maior número de espécies lenhosas (AMARAL, 1997; BASTOS, 1996; SILVA, 2008).

Na costa paraense, constituem espécies típicas como o Ajurú (*Chrysobalanus icaco*) e do gênero *Byrsonima* e *Hibiscus tiliacus*, etc (PIRES, 1966). Os gêneros dominantes em Myrtaceae são *Eugenia* (≥ 7 espécies) e *Myrcia* (8) (SILVA *et al.* 2010). No entanto, nenhuma espécie endêmica é conhecida e não há um padrão claro em relação ao agrupamento de comunidades vegetais de restinga ao longo da costa do Pará (SILVA *et al.* 2010).

A riqueza geral de espécies na costa Amazônica é baixa, quando comparada à flora da restinga do sul do Brasil (*e.g.*, Estado do Rio de Janeiro: 1005 espécies; *e.g.*, Bertioga / Estado de São Paulo: 611 espécies) (ARAUJO 2000; MARTINS *et al.* 2008). A alta riqueza de espécies das restingas do sul do Brasil foi explicada por sua proximidade (tanto no espaço quanto na composição de espécies) à floresta tropical do Atlântico (ARAUJO 2000, SCARANO, 2002).

Silva *et al.* (2010) explica que estes valores de riqueza para o litoral Amazônico são baixos, devido a inexistência de relação entre as espécies de restinga do litoral do Pará e as espécies correspondentes da floresta Amazônica, que nunca foram analisadas em conjunto. Além do fato de que às áreas de restinga da Amazônia são menores, do que as do Sul do Brasil. Devido a isso, pode-se esperar uma grande variação na diversidade, considerando as diferenças de tamanho e diversidade de habitats entre as extensas restingas do sul do Brasil e as Amazônicas.

Os solos sob vegetação de restinga são arenosos, quimicamente pobres, tendo como principal fonte de nutrientes o *spray* marinho (ARAÚJO; LACERDA, 1987; LEÃO; DOMINGUEZ, 2000). Possuem fortes gradientes no solo de acidez, salinidade, umidade, nutrientes essenciais, exposição a ventos e mobilidade do sedimento (BRUNBJERG *et al.* 2012; LANE *et al.* 2008; LORTIE; CUSHMAN, 2007). Trabalhos realizados na costa brasileira mostram que, sob essa vegetação, as principais classes de solos encontradas são Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos (MOURA FILHO 1998; GOMES *et al.* 1998).

Dentre os vários fatores ambientais que atuam em conjunto a limitar o desenvolvimento nas formações de restinga (CRAWFORD 2008; DE MATTOS *et al.* 2004), encontram-se a natureza dos solos extremamente arenosos que refletem na baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (GOMES, 2005; ROSADO; DE MATTOS, 2010), tornando-os pouco disponíveis às plantas (ARAUJO; LACERDA, 1987;

SCARANO *et al.* 2001, 2004). Este mosaico de habitats favorece o desenvolvimento de uma flora com alta diversidade beta, com grande concentração de espécies exclusivas para cada ambiente que requerem atenção e práticas de manejo adequadas à sua conservação (AMARAL *et al.* 2008; SILVA *et al.* 2010).

A diversidade de habitats nos ambientes litorâneos de restinga os tornam bastante complexos e, ao mesmo tempo, vulneráveis às perturbações e desequilíbrios ambientais. Grandes áreas de vegetação costeira sofrem impactos humanos, levando à degradação de praias e dunas ao longo de todo o litoral do Brasil (SCARANO *et al.* 2004).

A ocupação desordenada das praias ao longo da costa brasileira causou perda da cobertura vegetal da restinga (SCHERER *et al.* 2005). No estado do Pará, a expansão urbana descontrolada, bem como a exploração de locais de extração ilegal de materiais de construção (areia, barro) ou o estabelecimento não autorizado de aterros, levou a sérios problemas ambientais nas áreas costeiras protegidas (SOUZA FILHO, 2001). Além disso, o corte de madeira (GLASER *et al.* 2003) e a caça (PEREIRA; ALVEZ, 2006) impõem novas ameaças à vegetação costeira e à fauna associada.

À medida que a destruição desse ecossistema frágil por meio de impactos humanos aumenta em um ritmo acelerado (BASTOS *et al.* 2001), são necessárias novas descobertas da aplicação biológica para a preservação da biodiversidade destas áreas. Assim como uma descrição mais precisa das comunidades vegetais é necessária como ponto de partida para estudos ecológicos, bem como para especificar estratégias de conservação e manejo (SILVA *et al.* 2010).

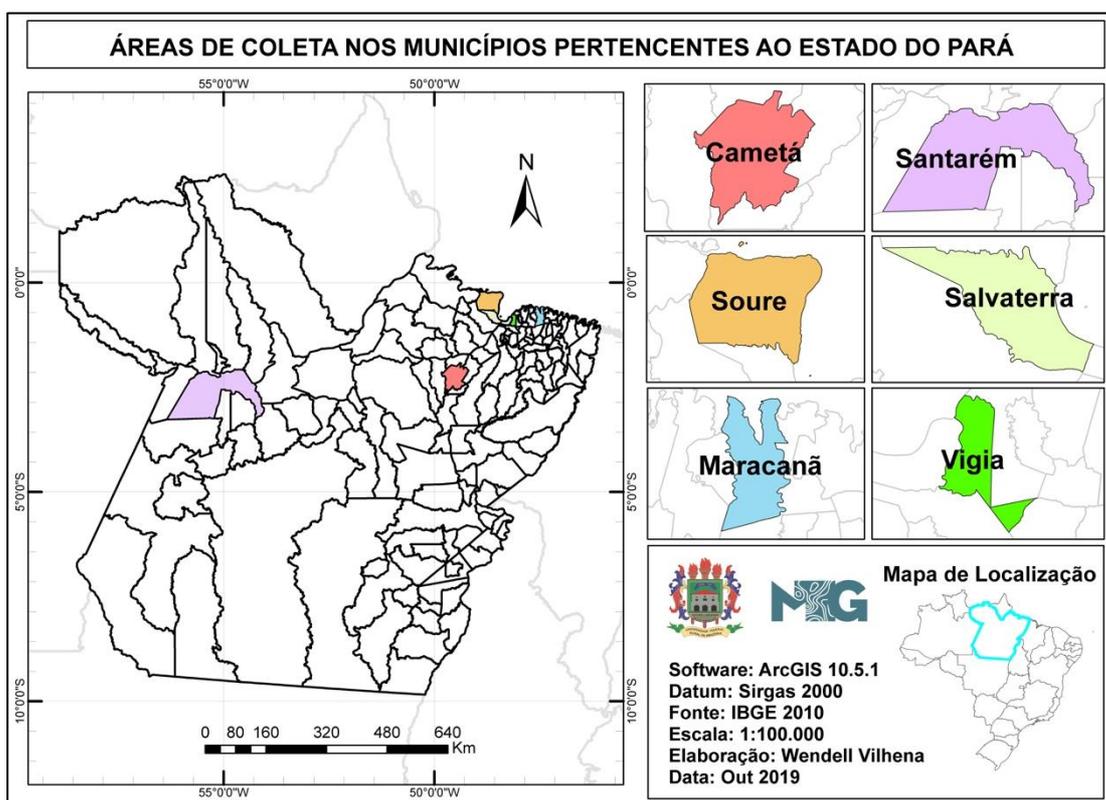
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de coleta de material botânico

A área de estudo está localizada na porção oriental da Amazônia, sob domínio das florestas tropicais e localizado nos entaves de vegetação aberta, movendo-se de leste a oeste no Estado do Pará (PA), região Norte do Brasil, (Fig. 1). As áreas de savana localizam-se em Alter-do-chão (2° 29'S, 54° 58'O), no município de Santarém, Cametá (2° 9'S, 49° 33'O) e Jubim (0° 48'S, 48° 32'O), localizado no município de Salvaterra - Ilha de Marajó. As áreas de campina são: Itapuá (0 ° 48'S, 48° 05'O), localizada no município de Vigia e Campo da Mangaba (0° 46'S, 47° 32'O), localizado no município de Maracanã. As áreas de restinga são: Salazar (0° 47'S, 48° 31'O), localizada no

município de Salvaterra e Turé ($0^{\circ} 36'S$, $48^{\circ} 28'O$), localizada no município de Soure, ambas localidades pertencentes à Ilha do Marajó (Fig. 1).

Figura 1 - Localização das áreas abertas estudadas na porção oriental da Amazônia, Estado do Pará (PA). Savanas: Áter-do-chão, Salvaterra e Cametá; Campinas: Vigia e Maracanã; Restingas: Salvaterra e Soure, Ilha do Marajó.



Fonte: Autor (2019).

O nível topográfico nas áreas estudadas é de pouco plano a ondulado, variando de 14 a 25 m acima do nível do mar com solos arenosos nas restingas e campinas e argilosos nas savanas, todos com acidez elevada, altas concentrações de alumínio (principalmente na savana), matéria orgânica escassa, luminosidade regular e biomassa foliar elevada sob a superfície do solo (SANAIOTTI *et al.* 2002; SENNA; BASTOS, 2009).

O clima da região é tropical quente e úmido com temperatura média anual de $26^{\circ}C$ todos os meses do ano, caracterizado por um período seco de três a quatro meses e chuvoso no restante dos meses (FIGUEROA; NOBRE, 1990; MORAES *et al.* 2005; SALATI; MARQUES, 1984).

Estas áreas de vegetação aberta encontram-se sob as linhas de instabilidade tropical que acarretam fortes chuvas, em sua maioria no final da tarde, devido ao forte

aquecimento diurno (NIMER, 1989). As menores temperaturas médias do ar ocorrem, geralmente, em fevereiro, mês típico da estação chuvosa, e são mais elevadas no mês de novembro, que representa o fim do período menos chuvoso e o início do período mais chuvoso. A estação chuvosa inicia-se em dezembro e termina em junho com a precipitação pluviométrica anual variando de 2.321 a 3.226 mm, já a média anual da umidade relativa é de 80% (MORAES *et al.* 2005) (Fig. 2). A evapotranspiração potencial anual para as áreas é em média de 1538 mm e maior durante os meses da estação seca, resultando em deficiência hídrica (MORAES *et al.* 2005).

Em relação a fitofisionomia, as áreas apresentam pequena biomassa, dominância de herbáceas e arbustos baixos com relativo espaçamento sem a formação de dossel contínuo, com diversidade florística mais baixa do que as áreas abertas do Brasil Central – Cerrado (BEARD, 1953; EITEN, 1977; HUBER, 1982; MIRANDA, 1993).

3.1.1 Restinga

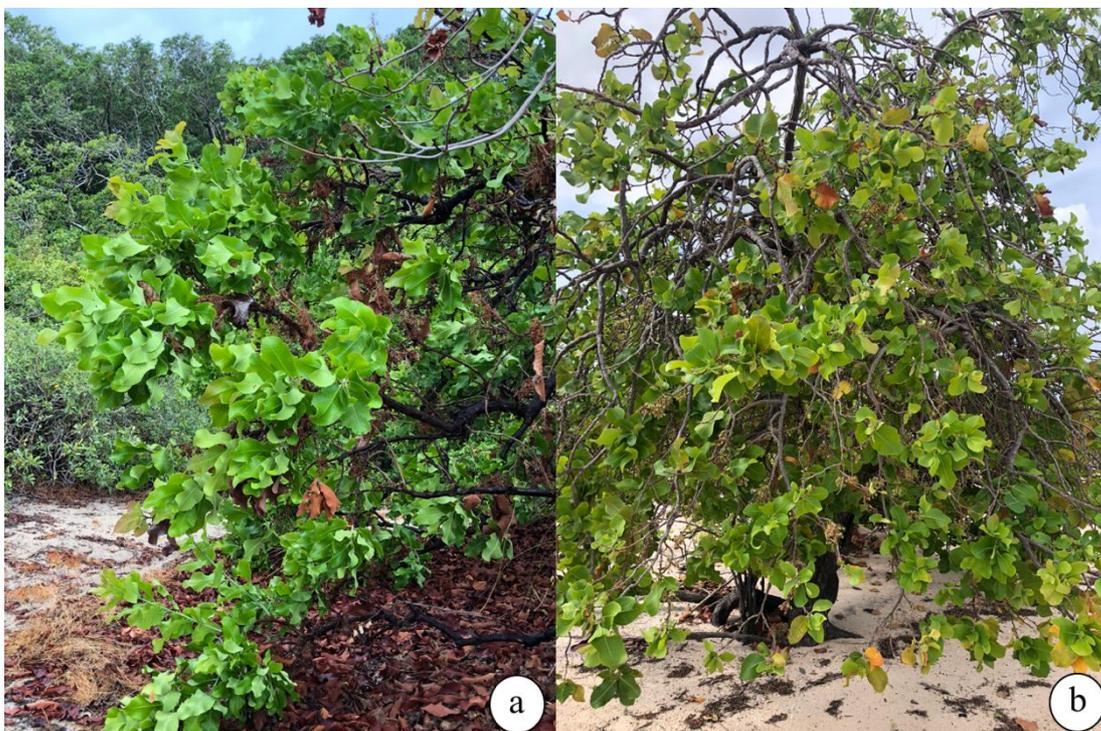
As áreas de restinga amazônica ocorrem sob sedimentos arenosos pleistocênicos de origem marinha e quaternária (ARAUJO; HENRIQUES, 1984; SILVA, 1990). São quimicamente pobres, predominantemente arenosos de rápida infiltração e baixa capacidade de retenção, tendo como principal fonte de nutrientes o *spray* marinho (ARAUJO; LACERDA, 1987; LEÃO; DOMINGUEZ, 2000). Possuem fortes gradientes no solo de acidez, salinidade, umidade, exposição a ventos e mobilidade do sedimento (BRUNBJERG *et al.* 2012; LANE *et al.* 2008; LORTIE; CUSHMAN, 2007). As principais classes de solos encontradas são Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (MOURA FILHO, 1998; GOMES *et al.* 1998) (Fig. 2).

O clima é quente durante todo o ano com temperatura média em torno de 26 °C e mínimas de 18 °C e precipitação sazonal. Tem por época mais chuvosa os meses de janeiro a junho e durante os meses mais secos, setembro a novembro, a precipitação mensal é inferior a 50 mm, dominando o clima Af na classificação de Köppen, caracterizado por apresentar clima equatorial (SILVA *et al.* 2010). Apresentam valor acumulado anual de precipitação variando entre 2400 e 3330 mm (BASTOS; LOBATO, 1996; FURTADO *et al.* 2006; MORAES *et al.* 2005).

A fisionomia analisada nas áreas de restinga é do tipo "arbustiva aberta", caracterizado por plantas de hábito herbáceo, arbustivo e até arbóreo, esclerófilas,

organizadas em moitas dispersas em manchas disjuntas com tamanhos variados (AMARAL *et al.* 2008; BASTOS, 1996; SANTOS; BASTOS, 2014) (Fig. 2).

Figura 2 - Detalhes de indivíduos de *C. americana* ocorrentes nas restingas amazônicas. a) Turé, Soure, Ilha do Marajó; b) Itarana, Salvaterra, Ilha do Marajó.



Fonte: Autor (2018).

3.1.2 Savana

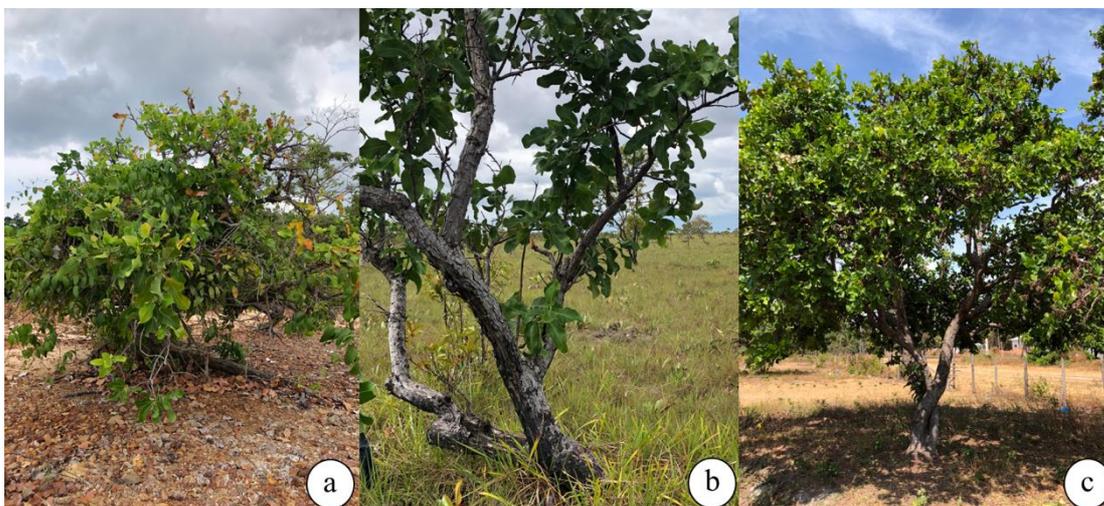
As áreas de savana ocorrem sob solos oligotróficos profundos, predominantemente arenosos (CARVALHO; MUSTIN, 2017), lixiviados, com altos teores de alumínio trocável (80%), concentrações de argila, pH ácido (5,2), baixos teores de nutrientes como nitrogênio e fósforo (MACHADO *et al.* 2004; MAGNUSSON *et al.* 2008), baixa capacidade de troca catiônica e pouca matéria orgânica (FAGERIA; SOUZA, 1995; RIBEIRO; WALTER, 2008). Os solos são dominados por gleissolos hidromórficos, ácidos e pouco drenados, com alguns podzols (AMARAL *et al.* 2019; RADAMBRASIL, 1974) (Fig. 3).

Nas savanas o clima é estacional, caracterizado por um clima tropical com precipitação em torno de 2000 mm na estação chuvosa a 300 mm na estação seca, temperatura média anual de 28 °C, com 3/4 das chuvas caindo entre dezembro e junho

(RADAMBRASIL, 1974; MIRANDA, 1993; MAGNUSSON *et al.* 2002; MORAES *et al.* 2005; ROSSETTI *et al.* 2010).

A fisionomia vegetal analisada nas áreas de savana do PA é do tipo "savana-parque", caracterizada pela presença de espécies lenhosas (árvores e arbustos) de porte baixo, espaçadas (isoladas), em meio a um estrato herbáceo contínuo (AMARAL *et al.* 2019; CARVALHO; MUSTIN, 2017) (Fig. 3).

Figura 3 - Detalhes de indivíduos de *C. americana* ocorrentes nas savanas amazônicas. a) Alter-do-chão, Santarém; b) Cametá; c) Jubim, Salvaterra, Ilha do Marajó.



Fonte: Autor (2018).

3.1.3 Campina

As áreas de campinas ocorrem sob solos podzol hidromórficos e areias quartzosas de baixa fertilidade natural, predominantemente latossolos amarelos, distróficos, adaptados ao solo Espodossolo (COSTA *et al.* 2020; EMBRAPA, 2013). São predominantemente arenosos, possuem elevada acidez e, em alguns casos, completamente inundados devido a um lençol freático raso, alternando com intenso déficit hídrico durante a estação seca (ADENEY *et al.* 2016; DAMASCO *et al.* 2013; MARDEGAN *et al.* 2009; VICENTINI, 2004) (Fig. 4).

O clima, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Am, caracterizado por apresentar clima de monção, com moderada estação seca, no qual nesses meses há uma precipitação mensal inferior a 60 mm. Apresentam a precipitação acumulada anual variando entre 500 mm a 3000 mm com temperatura média anual em torno de 26,5 °C e

a umidade relativa do ar entre 80-85% (PACHÊCO; BASTOS, 2006; RADAMBRASIL, 1974).

A fisionomia vegetal apresenta forma de vegetação raquítica e esclerófila, predominantemente herbáceo-arbustiva que se desenvolvem em machas pequenas de baixa diversidade e indivíduos com baixa estatura (máx. 3m de altura) (FERREIRA, 2009; SILVEIRA, 2003; VICENTINI, 2004) (Fig. 4).

Figura 4 - Detalhes de indivíduos de *C. americana* ocorrentes nas campinas amazônicas. a) Reserva de Desenvolvimento Sustentável Campo das Mangabas, Maracanã; b) Itapuá, Vigia.



Fonte: Autor (2018).

3.2 Amostragem

Foi estabelecido um número amostral (N) de 10 indivíduos por área, distantes 100m um do outro, coletados em outubro de 2018 durante a estação seca (período menos chuvoso Amazônico). Para cada indivíduo selecionado foi coletado o ramo mais alto possível a ser alcançado, com folhas totalmente expandidas e que estivessem completamente expostas à radiação solar, evitando folhas muito novas, com muita herbivoria ou aparentemente doentes (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.* 2013).

Nas proximidades de cada indivíduo de *C. americana* (projeção da copa) foram coletadas amostras de solo (aprox. 200g) a uma profundidade de 0 a 10cm, 10 a 20cm e de 20 a 40cm. Para as análises químicas e físicas, foi produzida uma amostra composta (N=3 ind/área) para as três profundidades e foram acondicionadas em sacos plásticos fechados, assim como os ramos, para minimizar a desidratação. O material fértil coletado foi identificado e incorporado ao acervo do Herbário do Museu Paraense Emílio Goeldi (MG).

Deste modo, a partir das amostras coletadas foram mensurados os atributos funcionais: atributos morfológicos, atributos anatômicos da madeira e características do solo.

3.3 Atributos morfológicos

De cada ramo foram selecionadas 15 folhas, posteriormente acondicionadas para a reidratação em um recipiente com água durante 1 hora. De cada indivíduo foram calculados cinco atributos funcionais: Área Foliar (AF), Área específica foliar (SLA), Espessura foliar (EF), Teor de matéria seca foliar (LDMC) e Densidade da madeira (DM).

Os estudos e análises foram conduzidos no Laboratório de Anatomia Vegetal (LAVEG) do Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi e no Laboratório de Ecologia de Produtores Primários (ECOPRO) da Universidade Federal do Pará. Para caracterização dos atributos foi seguido o protocolo presente em Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013).

- **Área foliar (AF):** a área foliar (mm²) da folha. Para medir a AF foram fotografadas com uma câmera digital a face adaxial das 15 folhas (n=10 ind.) com escala (régua) e mensurado segundo o software ImageJ (RASBAND, 2007) para o cálculo da AF. Este atributo está relacionado ao equilíbrio hídrico, captação de luz e trocas gasosas da planta (CORNELLISSSEN *et al.* 2003).
- **Área específica foliar (SLA):** é a razão entre a área foliar (AF) e a massa seca da folha (g m⁻²). As folhas foram secas em uma estufa à 70 °C por 48h e pesadas em uma balança digital com precisão de 0,0001g. Este atributo está relacionado ao gasto energético da planta na construção da folha, baseado principalmente em carbono (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.* 2013).
- **Espessura foliar (EF):** As folhas foram medidas em três partes (base, meio e ápice) do limbo com um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, evitando-

se as nervuras principais. A EF está relacionada ao potencial hídrico e a assimilação de carbono das plantas, que reflete uma maior resistência a herbivoria e a perda de água (CORNELLISSSEN *et al.* 2003).

- **Teor de matéria seca foliar (LDMC):** O teor de matéria seca da folha (LDMC) está relacionado com a densidade média (massa fresca por volume fresco) dos tecidos da folha, obtida através da fórmula: $LDMC = \text{massa seca foliar (mg)} / \text{massa fresca foliar (g)}$ e expressa em mg g^{-1} (WITKOWSKI; LAMONT, 1991). Folhas com alto LDMC tendem a ser relativamente resistentes e, portanto, são consideradas mais resistentes a perigos físicos (por exemplo, herbivoria, vento, granizo) do que as folhas com baixo LDMC (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.* 2013).
- **Densidade de madeira (DM):** foi obtido a partir da divisão da massa seca pelo volume do ramo coletado. Sendo assim, para o cálculo da DM (g cm^3) foram separadas três secções dos ramos coletados, para cada indivíduo (N=10 ind./área) com diâmetros em média de 5 mm. De cada secção do ramo coletado foi removido a casca da madeira e foram submergidos em água por 48h para reidratação. Após a hidratação, as amostras de madeira foram imersas em um recipiente contendo água sobre uma balança digital (0,0001g), a partir do qual seus valores foram quantificados para a obtenção do volume a partir do deslocamento da água, ou princípio de Arquimedes (empuxo) (ROSADO; DE MATTOS, 2010). De acordo com este princípio, a medida de massa da água deslocada é igual ao volume da amostra da madeira (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.* 2013). Por fim, as secções dos ramos foram colocadas em estufa a 70°C por 72 horas para obtenção da massa seca (BITTENCOURT *et al.* 2016). A DM está correlacionada com características mecânicas como força, flexibilidade, desempenho e relaciona-se a resistência física, suporte mecânico, transporte e armazenamento de água (CHAVE *et al.* 2009; CORNELISSSEN *et al.* 2003; PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.* 2013, REICH; CORNELISSSEN, 2014).

Através da AF, massa fresca saturada de água (mg) e massa seca (mg) foi calculado os valores relativos das estratégias CSR de *C. americana* para cada ambiente: savana, campina e restinga. O conjunto de dados foi inserido na ferramenta *StrateFy*, a partir da inserção dos valores dos atributos, e os valores de cada estratégia (C;S;R) foram gerados automaticamente (PIERCE *et al.* 2017).

3.4 Atributos anatômicos

Foram separadas duas secções do ramo (N=3 ind./área) para análises das características anatômicas da madeira. Estas foram fixadas em solução contendo etanol 45%, água 40%, 10% de formalina, 5% de ácido acético (FAA) e foram realizados cortes histológicos da secção transversal com espessura variando de 10 a 30 μm em micrótomo de deslize. Os cortes histológicos foram submetidos a um processo de clarificação em solução de hipoclorito de sódio (NaClO), corados em azul de Astra e Safranina 1% por um período de 2 minutos, seguindo a desidratação em série alcoólica etílica crescente de 50%, 70%, 90% e 100%. Após a desidratação etílica, os cortes foram transferidos para o acetato de butila durante 15 minutos e montados em lâmina com gelatina glicerinada 50% (C₃H₈O₃). As fotomicrografias foram realizadas em microscópio com câmera acoplada (BURGUER; RICHTER, 1991; KRAUS; ARDUIN, 1997).

A partir dos dados anatômicos da madeira caracterizamos 8 atributos: diâmetro do vaso (D), densidade dos vasos (VD), soma da área dos vasos (VA), índice de vulnerabilidade (VI), fração do lúmen do vaso (F), fração sem-lúmen (NF), condutividade hidráulica (Kh) e resistividade do lúmen (RL). Para caracterização dos atributos anatômicos foi seguido o protocolo presente em Scholz *et al.* (2013).

- **Diâmetro do Vaso (D):** É obtido através do ImageJ (RASBAND, 2007), que analisa o perímetro de cada vaso através do recurso *Treeshold* (seleção automática de estruturas de interesse com base em seus valores de cinza) em μm . Para obter o diâmetro do círculo é necessário dividir o perímetro por π , depois encontrar a raiz quadrada e multiplicar o resultado por 2. Este método usa a seguinte fórmula para calcular a área do círculo: $A = \pi \times r$ (SCHOLZ *et al.* 2013).
- **Densidade dos Vasos (VD):** É quantificada como o número médio de vasos por 1 mm^2 em mm^2 (SCHOLZ *et al.* 2013), ou a frequência de vasos ocorrentes numa escala de 10000 μm (lente de aumento 10x).
- **Soma da Área dos Vasos (VA):** É obtida através do ImageJ (RASBAND, 1997–2004) que analisa o perímetro de cada vaso através do recurso *Treeshold* e *Analyze particles* (contagem automática de células de um determinado tamanho ou forma em MM^{-2}).
- **Índice de Vulnerabilidade (VI):** É calculado utilizando o diâmetro do vaso (D, μm) e a densidade dos vasos (VD, mm^{-2}), calculado através da fórmula: $\text{VI} = D/\text{VD}$ em $\mu\text{m mm}^{-2}$ (SCHOLZ *et al.* 2013).

- **Fração do lúmen do vaso (F):** Calculada utilizando a densidade média dos vasos (VD) e a soma da área dos vasos (VA) em $\text{mm}^2 \times \text{MM}^{-2}$ (MARTÍNEZ-VILALTA *et al.* 2012; ZANNE *et al.* 2010), através da seguinte fórmula: $F = \text{VD} \times \text{VA}$ (SCHOLZ *et al.* 2013).
- **Fração sem-lúmen (NF):** Determina a resistência mecânica da madeira (ZANNE *et al.* 2010) e é obtida pela fórmula: $\text{NF} = 1 - F$ (SCHOLZ *et al.* 2013).
- **Diâmetro hidráulico (H):** (μm) é baseado no diâmetro circular do vaso D e foi introduzido para refletir a condutância real dos vasos através da Condutividade hidráulica (K_h) ($K_h = \pi D^4 / 128 \eta$) e Resistividade do lúmen (RL) ($R_L = 128 \eta / \pi D^4$), baseado na lei de *Hagen-Poiseuille* (SCHOLZ *et al.* 2013).

3.5 Características do solo

Foram analisados os atributos químicos e físicos dos solos das tipologias vegetais ($n=3/\text{área}$) de 3 profundidades (0-10, 10-20, 20-40 cm). As análises químicas dos solos foram para fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), cálcio (Ca), cálcio + magnésio (Ca + Mg), pH, acidez potencial (H+ Al), capacidade de troca catiônica (CTC) total e efetiva, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). Já a análise física foi para os parâmetros granulométricos: argila, silte e areia grossa e fina, através de abertura nitro-perclórica, segundo os métodos de Sarruge & Haag (1974) e EMBRAPA (2013).

3.6 Análise dos dados

Para determinar se há diferenças nas características de solo entre as tipologias vegetais estudadas e, assim testar a primeira hipótese apresentada, realizamos uma Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA - Anderson 2001). Também realizamos uma análise de componentes principais (PCA) com os dados organizados em uma média de atributos *versus* uma matriz de ambientes (áreas) para determinar a maior variância entre os atributos selecionados.

Para testar a segunda hipótese, se há diferenças nos atributos morfológicos e anatômicos, utilizamos análise de variância (ANOVA) com teste post-hoc de Tukey, cuja as premissas de normalidade e homocedasticidade foram testadas.

Para testar a terceira hipótese, avaliando a similaridade entre as tipologias, realizamos uma Análise Hierárquica de Cluster (HCA), a partir da distância Euclideana, assim como,

afim de analisar quais atributos estavam mais relacionados com cada tipologia, realizamos uma Análise de Redundância (RDA). Todas as análises estatísticas e gráficos foram realizados utilizando o software livre R (R Core Team, 2015) e Statistica considerando um nível de significância de $\alpha = 0,05$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB' SABER, A.N. **Litoral do Brasil**. Metalivros, São Paulo, 287p, 2001.
- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas**. – 159. São Paulo (Ateliê Editorial), 2003.
- ACKERLY, D.D. *et al.* The Evolution of Plant Ecophysiological Traits: Recent Advances and Future Directions. **BioScience**, Washington, v. 50, n. 11, p. 979-995, 2000.
- ACKERLY, D. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. **Ecological Monographs**, 74, 25-44, 2004.
- ADENEY, J. M. CHRISTENSEN, N. L.; VICENTINI, A.; COHN-HAFT, M. White-sand Ecosystems in Amazonia. **Biotropica**, 48, 7–23, 2016.
- AERTS, R.; CHAPIN, F.S. The mineral nutrition of wild plants revisited: A re- evaluation of processes and patterns. *In*: FITTER, A. H.; RAFFAELLI, D. G. (Eds.). **Advances in Ecological Research**, v. 30. London: Elsevier Ltd, v. 30,p. 1-67, 2000.
- ALEXANDRE-MOREIRA, M.; PIUVEZAM. M.; ARAÚJO, C.; THOMAS, G. Studies on the anti-inflammatory and analgesic activity of *Curatella americana* L. **J. Ethnopharmacol**, 1999, 67 (2), 171–177, [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(99\)00009-4](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(99)00009-4) PMID: 10619381 18.
- ALMEIDA, C. A. *et al.* High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *In*: **Acta Amazonica** 46, 291-302, 2016.
- AMARAL, D. D.; NETO, S. V. C.; JARDIM, M. A. G.; SANTOS, J. U. M.; BASTOS, M. N. C. *Curatella americana* L. (Dilleniaceae): primeira ocorrência nas restingas do litoral da Amazônia. **R. bras. Bioci.**, Porto Alegre, v. 14, n.4, p. 257-262, out./dez. 2016.
- AMARAL, D. D.; PROST, M. T.; BASTOS, M. N. C.; NETO, S. V. C.; SANTOS, J. U. M. Restingas do litoral amazônico, estados do Pará e Amapá, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, 3, 35-67, 2008.
- AMARAL, D.D. **Contribuição ao estudo das Formações Abertas de Moitas do litoral paraense, restinga do Crispim, município de Marapanim-PA**. Dissertação de mestrado, Universidade Rural do Pará/Museu Paraense Emilio Goeldi, Belém, 1997.
- AMARAL, D.D., ROCHA, A.E., PEREIRA, J.L.G., NETO, S. V. C. Identificação dos subtipos de savanas na Amazônia oriental (Pará e Amapá, Brasil) com uma chave dicotômica de individualização. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Cienc. Nat., Belém, v. 14, n. 2, p. 183-195, maio-ago. 2019.
- AMOROZO, M.C.M. Uso e diversidade de plantas medicinais em Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Santo Antônio do Leverger, v.16, n.2, p.189- 203, 2002.

ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E.; ROSALEM, L. M. P.; YOULTON, C.; OLIVEIRA, P. T. S. Hydrological trade-offs due to different land covers and land uses in the Brazilian Cerrado, **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 23, 1263–1279, 2019.

ANDERSON M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecol** 26:32–46, 2001.

ANDERSON, A. B. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, v. 13, p. 199-210, 1981.

ANDRADE, A.P.A. **Avaliação da utilização de protetor físico de germinação e semeadura direta das espécies *Copaifera langsdorffii* Desf. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. em área degradada pela mineração.** 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ANTUNES JR., M.Z.; LOBO, F.A.; DALMAGRO, H.J.; VOURLITIS, G.L.; ORTÍZ, C.E.R.; DALMOLIN, A.C.; LUCENA, I.C.; SULI, G.S. Efeito do microclima no intercâmbio gasoso potencial de cambará (*Vochysia divergens* Pohl) e lixeira (*Curatella americana* L.) em área de Cerrado. **Revista Brasileira de Biociências**, 9(1): 77-85, 2011.

ARAUJO, D. S. D.; PEREIRA, M.C.A.; PIMENTEL, M. Flora e estrutura de comunidades no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba - Síntese dos conhecimentos com enfoque especial para formação aberta de *Clusia*. Pp. 59-76, 2004. In: C.F.D. Rocha; F.A. Esteves & F.R. Scarano (eds.). **Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história e conservação.** Rima Editora, São Carlos.

ARAUJO, D.S.D. **Análise florística e fitogeográfica das restingas do Estado do Rio de Janeiro.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

ARAUJO, D.S.D., HENRIQUES, R.P.B. Análise florística das restingas do Rio de Janeiro. In: **Restingas: origem, estruturas e processos** (L.D.L. Lacerda, D.S.D. Araujo, R. Cerqueira & B. Turcq, eds.). CEUFF, Niterói, p.159-193. 1984.

ARAUJO, D.S.D.; LACERDA, L.D. A natureza das restingas. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 6, n. 33, p. 42-48, 1987.

ASSIS, A.M.; THOMAZ, L.D.; PEREIRA, O.J. Florística de um trecho de floresta de restinga no município de Guarapari, Espírito Santo, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 18: 191-201. 2004.

BARBOSA, C.S.; MAIA, F.; SANTOS, D.Q.; TERRONES, G.H. **Potencial herbicida do extrato diclorometanólico de folha da Lixeira (*Curatella americana* L.).** VIII Encontro Interno, XII Seminário de Iniciação Científica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

BARBOSA, R.; FEARNSIDE, P.M. Wood density of trees in open savannas of the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, 115-123, 2004.

BARBOSA, R.I. **Savanas da Amazônia**: emissão de gases do efeito estufa e material particulado pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, sem a troca do uso da terra, em Roraima, Brasil. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Universidade do Amazonas, Manaus. 212p. 2001.

BARBOSA, R.I.; CAMPOS, C.; PINTO, F.; FEARNSIDE, P.M. The "Lavrados" of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil's Amazonian Savannas. **Functional Ecosystems and Communities** 1: 29-41, 2007.

BARBOSA, R.I.; MIRANDA, I.S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. Pp. 61-78. *In*: R.I Barbosa; H.A.M. Xaud & J.M. Costa e Souza (eds.) **Savanas de Roraima**: etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrossilvipastoris. Boa Vista, Femact, 2005.

BARNETT, A.J.; FINLAY, K.; BEISNER, B.E. 2007. Functional diversity of crustacean zooplankton communities: towards a trait-based classification. **Freshwater Biology** 52 (5): 796–813.

BARROSO, G.M.; MORIN, M.P.; PEIXOTO, A.L.; ICHASO, C.L.F. **Frutos e sementes - morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Editora Viçosa: UFV, 443pp, 1999.

BASTOS, M.N.C.; LOBATO, L.C.B. Estudos fitossociológicos em áreas de bosque de mangue na praia do Crispim e Ilha de Algodal – Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, 8, 157-167, 1996.

BASTOS, M.N.C.; ROSÁRIO, C.S.; LOBATO, L.C.B. **Caracterização fitofisionômica da restinga de Algodal, Maracanã-PA, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica, 11(2): 173-197, 1995.

BASTOS, M.N.C.; SANTOS, J.U.M.; AMARAL, D.D.; COSTA-NETO, S.V. Alterações ambientais na vegetação litorânea do nordeste do Pará. *In*: **Ecosistemas costeiros**: impactos e gestão ambiental (M.T. Prost & A.C. Mendes, eds.). Museu Paraense Emílio Goeldi/ Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Belém, p.26-38, 2001.

BEARD J.S. The Savannah Vegetation of Northern Tropical America. **Ecol. Monog.** 23: 149–215, 1953.

BERNAL, H.Y.; CORREA, J.E. (edit.). **Especies vegetales promisorias de los países Del convenio Andrés Bello**. Bogotá: Guadalupe, 507p. Tomo VI. (PREVECAB. Série Ciência e Tecnologia, 21). 1991.

BERTILLER, M.B.; MAZZARINO, M.J.; CARRERA, A.L.; DIEHL, P.; SATTI, P.; GOBBI, M.; SAIN, C.L. Leaf strategies and soil N across a regional humidity gradient in Patagonia. **Oecologia**, Berlin, v. 148, n. 4, p. 612-24, 2006.

BIERAS, A.C.; SAJO, M.G. Leaf structure of the cerrado (Brazilian savanna) woody plants. **Trees**, 23: 451-471, 2009.

BITTENCOURT, P. R. L.; PEREIRA, L.; OLIVEIRA, R. S. On xylem hydraulic efficiencies, wood space-use and the safety-efficiency tradeoff. **New Phytologist**. 211, 1152–1155, 2016.

BONADIMAN, G.S.L. **Decomposição e liberação de nutrientes de folhas de *Clusia hilariana* Schleich (Clusiaceae) em moitas da formação Arbustiva Aberta de Clusia no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ.** 2007. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

BUSSOTTI, F.; BORGHINI, F.; CELESTI, C.; LEONZIO, C.; BRUSCHI, P. Leaf morphology and macronutrients in broadleaved trees in central Italy. **Trees**, Berlin, v. 14, n. 7, p. 361-368, 12 jul, 2000.

BRAGA, P.I.S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico na Amazônia. **Acta Amazonica** 9:53-80, 1979.

BRIDGEWATER, S. *et al.* Biogeographic patterns, diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. **Biodiversity and Conservation**, 13: 2295-2318, 2004.

BRUNBJERG, A.K.; EJRNAES, R.; SVENNING, J. Species sorting dominates plant metacommunity structure in coastal dunes. **Acta Oecologica**, 39, 33–42, 2012.

BRUM, M.; TEODORO, G. S.; ABRAHÃO, A.; OLIVEIRA, R. S. Coordination of rooting depth and leaf hydraulic traits defines drought-related strategies in the campos rupestres, a tropical montane biodiversity hotspot. **Plant and Soil**, 420(1-2), 467–480, 2017. doi:10.1007/s11104-017-3330-x

BUENO, G.T. **Appauvrissement et podzolisation des latérites du bassin du Rio Negro et gèneses Podzols dans le haut bassin amazonien.** Doutorado em Geografia. Rio Claro. 191p, 2009.

BURGER, L.M., RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 154p, 1991.

CARVALHO, J. O. P. **Classificação em grupos ecológicos das espécies mais importantes em uma área da Floresta Nacional de Tapajós, Belterra, PA.** Comunicado Técnico, EMBRAPA. 2000.

CARVALHO, T.M.; CARVALHO, C.M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studie. **Quaternary Science Journal**, v. 61, p. 146-155, 2012.

CARVALHO, W. D.; MUSTIN, K. The highly threatened and little known Amazonian savannahs. **Nature Ecology & Evolution** 1: 100, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0100>.

CARVALHO, W.; MUSTIN, K. The highly threatened and little known Amazonian savannahs. **Nat Ecol Evol** 1, 0100, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0100>

CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S.L.; SWENSON, N.G.; ZANNE, A.E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, 12. 351-366, 2009.

COLE, M. M. The savannas: biogeography and geobotany. **London**: Academic Press, 1986. 438p.

COLLINSON, A. S. **Introduction to world vegetation**. London: Unwin Hyman Ltd., 2ed. 325p, 1988.

CONCEIÇÃO, A.A.; PIRANI, J.R.; MEIRELLES, S.T. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n.4, p. 641-656, 2007.

COOMES, D.A.; GRUBB, P.J. Amazonian caatinga and related communities at La Esmeralda, Venezuela: forest structure, physiognomy and floristics, and control by soil factors. **Vegetatio**, v.122 p. 167-191, 1996.

CORNELISSEN, J. H. C. *et al.* A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, 51, 335–380, 2003.

COSTA NETO, S.V.; BASTOS, M.N.C.; LOBATO, L.C.B. Composição florística e fitofisionomia da restinga do Crispim, Município de Marapanim, PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Botânica, 12: 237-249, 1996.

COSTA, F. M. *et al.* Islands in a green ocean: Spatially structured endemism in Amazonian white-sand vegetation. **Biotropica**. 52: 34– 45, 2020. <https://doi.org/10.1111/btp.12732>

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387, 253–260, 1997.

CRAWFORD, R. M. M. **Plants at the margin**: ecological limits and climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 478p, 2008.

DALMAGRO, H.J.; LOBO, F.A.; VOURLITIS, G.L; DALMOLIN, Â.C.; ANTUNES Jr., M.Z.; ORTÍZ, C.E.R.; NOGUEIRA, J.S. Photosynthetic parameters of two invasive tree species of the Brazilian Pantanal in response to seasonal flooding. **Photosynthetica**, Cuiabá, v.51, n.2, p.281-294, 2013.

DALMOLIN, A. C.; THOMAS, S. E. O.; ALMEIDA, B. C.; ORTÍZ, C. E. R. Alterações morfofisiológicas de plantas jovens de *Curatella americana* L. submetidas ao sombreamento. **R. bras. Bioci.**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2015.

DAMASCO, G.; VICENTINI, A.; CASTILHO, C. V.; PIMENTEL, T. P.; NASCIMENTO, H. E. M. Disentangling the role of edaphic variability, flooding regime and topography of Amazonian white-sand vegetation. **Journal of Vegetation Science**, 24, 384–394, 2013.

DE MATTOS, E.A.; BRAZ, M.I.G.; CAVALIN, P.O.; ROSADO, B.H.P.; GOMES, J.M.; MARTINS, L.S.T.; ARRUDA, R.C.O. Variação espacial e temporal em parâmetros fisiocológicos de plantas. In: Rocha, C. F. D.; Esteves, F. A.; Scarano, F. R. (Eds.). **Pesquisas de longa duração na restinga de Jurubatiba. Ecologia, história natural e conservação.** São Carlos: Editora RiMa, p. 99-116, 2004.

DÍAZ, S. *et al.* The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 15, n. 3, p. 295, 2004.

DUARTE, D.M.; PRADO, J.S.; NOGUEIRA, A.C.; MEDEIROS, A.C.S.; AGUIAR, I.B.; ABREU, D.C.A. Germinação de sementes de lixeira (*Curatella americana* L.) com diferentes colorações no tegumento. In: Anais do IX Seminário de Iniciação Científica, VI Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação e Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, 9, 6, 2011, Goiás. **Anais...** Goiás: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS, 2011.

DURIGAN, G.; LEITÃO FILHO, H.F.; RODRIGUES, R.R. Phytosociology and structure of a frequently burnt cerrado vegetation in SE-Brazil. **Flora**, 189:153-160, 1994.

EITEN, G. Delimitação do conceito de cerrado. **Arquivos Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 21:125-134, 1977.

EITEN, G. Brazilian 'savannas'. In: Hunt- ley, B.J.; Walker, B.H. (Eds.) **Ecology of Tropical Savannas.** Springer Verlag, Berlim, p.25-47, 1983.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. ed. Brasília: Embrapa, 353 p., 2013.

FAGERIA, N.K.; SOUZA, N.P. Resposta das culturas de arroz e feijão em sucessão à adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.359-368, 1995.

FALSTER, D.S.; WESTOBY. M. Leaf size and angle vary widely across species: What consequences for light interception? **New Phytologist** 158: 509–525, 2003.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Revista Agro@mbiente** 7, 95-111, 2013.

FELFILI, J.M.; NOGUEIRA, P.E.; SILVA JUNIOR, M.C.; MARIMON, B.S.; DELITTI, W.B.C. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa, MT. **Acta Botanica Brasilica**, 16: 103-112, 2002.

FELFILI, J.M.; SILVA-JR, M.C.; REZENDE, A.V.; MACHADO, J.W.B; WALTER, B.M.T.; SILVA, P.E.N.; HAY, J.D. Análise comparativa da florística e fitossociologia da vegetação arbórea do Cerrado Senso Stricto na Chapada Pratinha, DF- Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, 6: 25-46, 1992.

FERREIRA, C. A. C. **Análise comparativa de vegetação lenhosa do ecossistema de campina na Amazônia brasileira.** 2009. 277 f. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - Convênio INPA e UFAM, Manaus. 2009.

FERREIRA, C. A. C. **Variação Florística e Fisionômica da Vegetação de Transição Campina, Campinarana e Floresta de Terra Firme, Manaus (AM)**. 1997. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). UFRPE, Recife. 1997.

FERREIRA, C. S.; CARMO, W. S.; GRACIANO-RIBEIRO, D.; OLIVEIRA, J. M. F.; MELO, R. B.; FRANCO, A. C. Anatomia da lâmina foliar de onze espécies lenhosas dominantes nas savanas de Roraima. **Acta Amazonica**, Vol. 45(4) 2015: 337 – 346, 2015.

FERREIRA, N. M. M. **Germinação de sementes e morfologia de plântulas de espécies de restinga com potencial paisagístico**. Tese de mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia/Museu Paraense Emilio Goeldi, Belém, 2006.

FIGUEROA, S. N.; C. A. NOBRE, Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise** 5(6): 36-45, 1990.

FINE, L.V. *et al.* The growth-defense trade-off and habitat specialization by plants in Amazonian forests. **Ecology**, v. 87, p. 150-162, 2006.

FINE, P.V.A.; MESONES, I.; COLEY, P.D. Herbivores Promote Habitat Specialization by Trees in Amazonian Forests. **Science**, v. 305, p. 663-665, 2004.

FLORA DO BRASIL 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB103>>. Acesso em: 22 Ago. 2018.

FOLDATS, E.; RUTKIS, E. Ecological studies of chaparro (*Curatella americana* L.) and manteco (*Byrsonima crassifolia* H.B.K) in Venezuela. **Journal of Biogeography**, 2: 159-178, 1975.

FURLEY, P.A.; RATTER, J.A. Soil resources and plant communities of central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, 15: 97-108, 1988.

FURTADO, A. M. M *et al.* Distribuição espacial das manchas de savana parque no município de Salvaterra, Ilha de Marajó, Pará. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Goiânia, 2006.

GARNIER, E., SHIPLEY, B., ROUMET, C., LAURENT, G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. **Functional Ecology**, 15, 688–695, 2001.

GILLON, D. The fire problem in tropical savannas. In: BOURLIÉRE, F. (ed.). **Ecosystems of the world 13: tropical savannas**. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publishing Company, p.617-641, 1983.

GIVNISH, T. J. Comparative studies of leaf form: assessing the relative roles of selective pressures and phylogenetic constraints. **New Phytologist** 106: 131-160, 1987.

GLASER, M.; BERGER, U.; MACEDO, R. Local vulnerability as an advantage: mangrove forest management in Pará State, north Brazil, under conditions of illegality. **Regional Environmental Change** 3:162-172, 2003.

GLEASON, S.M.; *et al.* Weak tradeoff between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species. **New Phytologist**, 209: 123-136, 2016. doi:10.1111/nph.13646

GRIME, J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **American Naturalist**, 111. 169-194, 1977.

GRIME, J.P. **Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties**, 2nd edn. Wiley, Chichester, pp. 417, 2001.

GOMES, F.H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**. 2005. 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GOMES, J.B.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; MENDONÇA, E.S. **Solos de três áreas de restinga**. I. Morfologia, caracterização e classificação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1907-1919, 1998.

GOODLAND, R. A physiognomic analysis of the Cerrado vegetation of Central Brasil. **Journal of Ecology**, 59: 411-419, 1971.

GUEDES, D.; BARBOSA, L.M.; MARTINS, S.E. Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de restinga no Município de Bertioga, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 20:299-311, 2006.

GUIMARÃES, F. S.; BUENO, G. T. **As campinas e campinaranas amazônicas**. *Caderno de Geografia*, v.26, n.45, 2016. ISSN 2318-2962.

GUIMARÃES, M. **A origem do cerrado**. *Pesquisa FAPESP*: 219, P. 50-53, 2014.

GUSSON, A. E.; ARAUJO, G. M.; RODRIGUES, R. F. Estrutura espacial e síndrome de dispersão de espécies arbóreas de um cerradão em Araguari, MG. In: II simpósio Internacional Savanas Tropicais, Brasília-DF. **Anais II Simpósio Internacional Savanas Tropicais**, p.1-7, 2008.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral das plantas nativas do Cerrado. **Braz. J. Plant Physiol.** 12:54-64, 2000.

HACKE, U.G.; SPERRY, J. S; POCKMAN, W.T.; DAVIS, S.D.; MCCULLOH, K.A. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **Oecologia**, 126. 457-461, 2001.

HOFFMANN, W. A. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. **Journal of Ecology**, 84:383-393, 1996.

HOOPER, D.U. *et al.* Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological Monographs** 75: 3–35, 2005.

HUBER O. Significance of savannah vegetation in the Amazon Territory of Venezuela. In: Prance G.T. (ed.), **Biological Diversification in the Tropics**. Columbia University Press, New York, pp. 221–244, 1982.

HUBER, O. Guayana highlands versus Guayana lowlands, a reap- praisal. **Taxon**, 37, 595–614, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, 2012. 271p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1).

JANZEN, D.H. Tropical Blackwater Rivers, Animals, and Mast Fruiting by the Dipterocarpaceae. **Biotropica** 6(2):69–103, 1974. doi: 10.2307/2989823

JORDAN, C.F. Soils of Amazon Rain Forest. In: Prance GT; Lovejoy, T. E. Amazonia, vol 5. **Pergamon Press**, New York, pp 83–93, 1985.

JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J.M.; WITTMANN, F. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. **Wetlands**, v. 31, p. 623-640, 2011.

KEDDY, P.A. A pragmatic approach to functional ecology. **Functional Ecology** 6 (6): 621–626, 1992.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: BASF. 683p, 1995.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica. México. 479p, 1948.

KRAUS. J. E.; ARDUIN. M. **Manual Básico de Métodos em Morfologia Vegetal** – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica – RJ: EDUR, 1997.

KUBITZKI, K. The ecogeographical differentiation of Amazonian inundation forests. **Plant Systematics and Evolution**, 162, 285–304, 1989.

KUBITZKI, K. Dilleniaceae. In: Smith, N. **Flouring plants of neotropics**. Princeton. New Jersey. Princeton University Press, p. 128-130, 2004.

LACEY, C. J.; WALKER, J.; NOBLE, I. R. Fire in Australian savannas. In. HUNTLEY, B. J.; WALKER, B. H. (eds.). Ecology of tropical savannas. Berlin: **Springer-Verlag**, p.246-272. Ecological Studies, 42, 1982.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F.S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. 2ª Ed. 605p, 2008.

LANE, C.; WRIGHT, S.J.; RONCAL, J.; MASCHINSKI, J. Characterizing environmental gradients and their influence on vegetation zonation in a subtropical coastal sand dune system. **Journal of Coastal Research**, 24, 213–224, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Rima, 531pp, 2000.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**, Oxford, v. 16, p. 545-556, 2002.

LEÃO, Z.M.A.N.; DOMINGUEZ, J.M.L. **Tropical coast of Brazil**. Mar. Poll. Bull., 41:112-122, 2000.

LEHMANN, C. E. R. *et al.* Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents. **Science**. v. 343, n. 6.170, p. 548-52. 31 jan. 2014.

LISBOA, P. L. Estudo sobre a vegetação das campinas amazônicas. VI. Aspectos ecológicos de *Glycoxylon inophyllum* (Mart. ex Miq.) Ducke (Sapotaceae). **Acta Amazonica**, Manus, v.6, n.2, p. 193-211, 1976.

LISBOA, P.L.B.; LISBOA, R.C.; ROSA, N.A.; SANTOS, M.R. Padrões de diversidade florística na reserva ecológica de Bacurizal, em Salvaterra, ilha do Marajó, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, série Botânica, 9: 223-248, 1993.

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C.A. Trait-based community ecology of phytoplankton. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** 39: 615–639, 2008.

LOPES, A.D.; PAROLIN, P.; PIEDADE, M.T. Morphological and physiological traits of aquatic macrophytes respond to water chemistry in the Amazon Basin: an example of the genus *Montrichardia* Crueg (Araceae). **Hydrobiologia**, 766, 1-15, 2015.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4 ed. São Paulo: Nova Odessa, 2002.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, v.2, 352p, 1998.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

LORTIE, C.J.; CUSHMAN, J.H. Effects of a directional abiotic gradient on plant community dynamics and invasion in a coastal dune system. **J. Ecol.** 95, 468–481, 2007.

LUZ, F.J.F. Plantas medicinais de uso popular em Boa Vista, Roraima, Brasil. **Horticultura Brasileira**, Boa Vista, v.19, n.1, p.88-96, 2001.

MACHADO, R.B.; RAMOSNETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado Brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservação Internacional**, 25p., 2004.

MAGNUSSON, W. E.; SANAIOTTI, T. M.; LIMA, A. P.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; DE ARAÚJO, M. C.; ALBERNAZ, A. L. A comparison of $\delta^{13}\text{C}$ ratios

of surface soils in savannas and forests in Amazonia. **Journal of Biogeography** 29:857-863, 2002.

MAGNUSSON, W. E.; LIMA, A. P.; ALBERNAZ, A. L. K. M.; SANAIOTTI, T. M.; GUILLAUMET, J. L. Composição florística e cobertura vegetal das savanas na região de Alter do Chão, Santarém-Pa. **Revista Brasil. Bot.**, V.31, n.1, p.165-177, 2008.

MARDEGAN, S.F. *et al.* Nitrogen availability patterns in white-sand vegetations of Central Brazilian Amazon. **Trees** 23, 479–488, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0293-9>

MARTINS, S.E.; ROSSI, L.; SAMPAIO, P.S.P.; MAGENTA, M.A.G. Caracterização florística de comunidades vegetais de restinga em Bertioiga, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 22:249-274, 2008.

MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MENCUCCINI, M.; ALVAREZ, X.; CAMACHO, J.; LOEPFE, L.; PIÑOL, J. Spatial distribution and packing of xylem conduits. **Am. J. Bot.** 99, 1–8, 2012.

MEDEIROS, P.M.; LADIO, A.H.; ALBUQUERQUE, U.P. Patterns of medicinal plant use by inhabitants of Brazilian urban and rural areas: A macroscale investigation based on available literature. **J Ethnopharmacol.** 150 (2), 729–746, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.09.026> PMID: 240958.

MEDINA, E.P.; GARCÍA, V.H.; CUEVAS, E. Sclerophylly and oligotrophic environments : relationships between leaf structure, mineral nutrient content, and drought resistance in tropical rain forests of the upper Rio Negro region. **Biotropica** 22(1):51–64, 1990. DOI:10.2307/2388719

MENDONÇA, A. F. M. **Campinaranas Amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação.** 2011. 110 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA-JUNIOR, M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S.; NOGUEIRA, P.E.E.; FAGG, C.W. Flora Vascular do Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: ALMEIDA, S. M.; SANO, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds). Cerrado: Ecologia e Flora. **Embrapa Informação Tecnológica**, p. 422-442, 2008.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses, Vol. 2. **Oxford**: Clarendon Press, 1500p, 1950.

MIRANDA I.S. Estrutura do estrato arbóreo do cerrado amazônico em Alter-do-Chão, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** 16: 143–150, 1993.

MIRANDA, I.S., ABSY, M.L., REBELO, G.H. Community Structure of Woody Plants of Roraima Savannas, Brazil. **Plant Ecology** 164: 109–123, 2003.

MISTRY, J. World savannas: ecology and human use. **Great Britain**: Pearson Education Limited, Prentice Hall, 344p.il, 2000.

MORAES, B.C.; COSTA, J.M.N.; COSTA, A.C.L.; COSTA, M.H. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazonica** **35**: 207-214, 2005.

MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in central Brazil. **Journal of Biogeography**. Londres. v.27, p.1021-1029, 2000.

MOREIRA, A. G. Proteção contra o fogo e seu efeito na distribuição e composição de espécies de cinco fisionomias de Cerrado. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. (ed.). **Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga**. Brasília, Dept. de Ecologia, Universidade de Brasília. p.112-121, 1996.

MOURA FILHO, G. **Caracterização e uso de solo associados à foz do Rio São Francisco, no litoral de Alagoas**. Tese de Doutorado -Viçosa, MG, Universidade Federal, 169p., 1998.

MULLER, C. H. Phytotoxins as a plant habitat variables. Recent adv. **Phytochem**, v.3, p.105-121, 1970.

MYERS, N.; MITTERMEIR, R.A.; MITTERMEIR, C.G.; FONESCA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NASCIMENTO, N. R.; BUENO, G. T.; FRITSCH, E.; HERBILLON, A.J.; ALLARD, T.; MELFI, A.J.; ASTOLFO, R.; BOUCHER, H. LI, Y. Podzolization as a deferralitization process: a study of an Acrisol-Podzol sequence derived from Palaeozoic sandstones in the northern upper Amazon Basin. **European Journal of Soil Science**, v. 55, n. 3, p. 523-538, 2004.

NALLEY, J.O.; STOCKENREITER, M.; LITCHMAN, E. Community ecology of algal biofuels: complementarity and trait-based approaches. **Industrial Biotechnology** 10 (3): 191–201, 2014.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 421 p, 1989.

NOCK, C. A; VOGT, R. J.; BEISNER, B. E. Functional Traits. In: **eLS**. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester, 2016,

NORBERG, J. Biodiversity and ecosystem functioning: a complex adaptive systems approach. **Limnology and Oceanography** 49 (4, Part 2): 1269–1277, 2004.

OELZE, M.L.; VOGEL, M.O.; ALSHARAF, K.; KAHMANN, U.; VIEHHAUSER A.; MAURINO, V.G.; DIETZ K.J. Efficient acclimation of the chloroplast antioxidant defence of *Arabidopsis thaliana* leaves in response to a 10- or 100-fold light increment and the possible involvement of retrograde signals. **Journal of Experimental Botany**, n. 63, p. 1297-1313, 2012.

OLIVEIRA, A. A.; DALY, D. C.; VICENTINI, A.; COHN-HAFT, M. Florestas sobre areia: campinaranas e igapós. In OLIVEIRA, A. A.; DALY, D. C. **Florestas do Rio Negro**. São Paulo: Companhia das Letras, p. 179-220, 2001.

- OLIVEIRA, A.K.M.; NUNES, A.C.; FARIAS, G.C. Predation of *Curatella americana* seeds by *Aratinga aurea* parrots. **Revista Brasileira de Biociências**, 10(4): 526-529, 2012.
- OLIVEIRA, L.A.; CASTRO, N.M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* e *Davilla elliptica*. **Horizonte Científico**, 1(1): 1-16, 2002.
- ORIAN, G.H.; SOLBRIG, O.T. A cost-income model of leaves and roots with special reference to arid and semiarid areas. **American Naturalist**, 111. 677-690, 1977.
- OYARZABAL, M.; PARUELO, J.M.; PINO, F.; OESTERHELD, M.; LAUENROTH, W.K. Trait differences between grass species along a climatic gradient in South and North America. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 19, n. 2, p. 183-192, 29 abr, 2008.
- PACHÊCO, N. A., BASTOS, T. X. Boletim Agrometeorológico 2004 Igarapé-Açu, PA. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 216). Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 28 p., 2006.
- PAROLIN, P.; LUCAS, C.; PIEDADE, M. T.; WITTMANN, F. Drought responses of floodtolerant trees in Amazonian floodplains. **Annals of Botany**, v.105, p.129-139, 2010.
- PEREIRA, D.C.; BARROS, C.F.; SCARANO, F R. In situ variation in leaf anatomy and morphology of *Andira legalis* (Leguminosae) in two neighbouring but contrasting light environments in a Brazilian sandy coastal plain. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 267-273, 2009.
- PEREIRA, M.S.; ALVEZ, R.R.N. Composição florística de um remanescente de Mata atlântica na Área de Proteção Ambiental Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** 6:357-366, 2006.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of botany**, v. 61, p. 167-234, 2013.
- PFADENHAUER, J. Contribuição ao conhecimento da vegetação e de suas condições de crescimento nas dunas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia** 38:827-836, 1978.
- PIERCE, S. *et al.* A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. **Functional Ecology**, 31. 444-457, 2017.
- PIRES, J. M. **Tipos de vegetação que ocorrem na Amazônia**. Belém, PA: IPEAN, 1966.
- PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. **The Vegetation Types of the Brazilian Amazon**. In: PRANCE, G.T.; LOVEJOY, T. E. (eds) Key Enviroments Amazônia. Oxford, Pergamon Press, p. 109-145, 1985.
- PIRES, J.M. Tipos de Vegetação da Amazônia, In: **O Museu Goeldi no ano do sesquicentenário**. Belém, MPEG (Publ. Avulsas, 20), p. 179-202, 1973.

PIRES, L.A.; DE BRITIZ, R.M.; MARTEL, G.; PAGANO, S.N. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 173-184, 2006.

PLOTKIN, R. L.; RIDING, S. Biogeography of the Llanos de Moxos: natural and anthropogenic determinants. **Geogr. Helv.** 3, 183–192, 2011.

PRANCE, G. T.; SCHUBART, H. O. R. Notes on the vegetation of Amazonia I. A preliminary note the origin of the open white sand Campinas of the lower Rio Negro, **Brittonia**, v.30, n.1, p. 60-63, 1978.

PRANCE, G.T. Islands in Amazonia. **Philosophical Transactions Biological Sciences**, v. 351, p. 823-833, 1996.

PROCTOR, J. Heath Forests and Acid Soils. **Bot J Scotl** 51(1):1–14, 1999.

R CORE TEAM, 2015. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. URL. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

RADAMBRASIL. Projeto Radam. Levantamento de recursos naturais. Ministério de Minas e Energia-DNPN, Rio de Janeiro, 1974.

RAPINI, A.; RIBEIRO, P.L.; LAMBERT, S. PIRANI, J. R. **A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço**. Megadiversidade, v. 4, n. 12, p.16-24, 2008.

RASBAND, W.S. *ImageJ*. Versão 1.42q. **National Institute of Health**, USA. 2007.

RATTER J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: Comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, 60: 57–109, 2003.

REICH, P.B.; WRIGHT, I.J.; CRAINE, J.M.; OLEKSYN, J.; WESTOBY, M.; WALTERS, M.B. The evolution of plant functional variation: traits, spectra and strategies. **International Journal of Plant Sciences**, Knivsta, v. 164, p. S143-S164, 2003.

REICH, P.B.; WRIGHT, I.J.; LUSK, C.H. Predicting leaf physiology from simple plant and climate attributes: a global GLOPNET analysis. **Ecological Applications**, Tempe, v. 17, n. 7, p. 1982-1988, 2007.

REICH, P. B.; CORNELISSEN, H. The world-wide ‘fast–slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto. **J Ecol**, 102: 275-301, 2014.

RESENDE-MOREIRA, L.C. *et al.* Evolving in isolation: Genetic tests reject recent connections of Amazonian savannas with the central Cerrado. **J Biogeogr**, 46: 196– 211, 2019. <https://doi.org/10.1111/jbi.13468>

RESENDE, R. O.; PINHO, F.E.C. Estudo da espécie *Curatella americana* L. - (Lixeira) utilizada como bioindicador em região aurífera do distrito de Cangas - Poconé - MT. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Poconé, v.11, n.2, p.48-63, 2011.

REVILLA, J. **Plantas da Amazônia**: oportunidades econômicas e sustentáveis. Manaus: SEBRAE-AM/INPA. 405 p., 2001.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (eds). **Cerrado**: ecologia e flora. Embrapa Cerrado/Embrapa Informação Tecnológica, 2a ed, p.151-212, 2008.

RICHARDS, P.W. **The Tropical rain forest**. Cambridge University Press. Cambridge, 450p., 1952.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1992.

RÔÇAS, G.; SCARANO, F.R.; BARROS, C.F. Leaf anatomical variation in *Alchornea triplinervia* (Spreng.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae) under distinct light and soil water regimes. **Botanical Journal of the Linnean Society** 136:231-238, 2001.

ROCHA, A. E. S., & MIRANDA, I. S. Poaceae communities in the savannas of the Amazon estuary in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 28, 559–568, 2014. <https://doi.org/10.1590/0102-33062014abb2812>

ROCHA, A. E. S.; MIRANDA, I. S.; COSTA NETO, S. V. Composição florística e chave de identificação das Poaceae ocorrentes nas savanas costeiras amazônicas, Brasil. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 44, n. 3, p. 301-314, Set. 2014.

ROMÃO, E. P.; PONTES, A. N.; GUTJAHR, A. L. N.; TORRES, W. R. G. Análise temporal do uso e da cobertura do solo nas áreas desflorestadas do município de Altamira, Pará. **Enciclopédia Biosfera** 14, 113-126, 2017. doi: 10.18677/EnciBio_2017A11.

ROMARIZ, D. A. **Biogeografia**: temas e conceitos. São Paulo: Scortecci, 2012.

ROSADO, B.H.P.; DE MATTOS, E. A. Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 741-752, set. 2007.

ROSADO, B.H.P.; DE MATTOS, E.A. Interspecific variation of functional traits in a CAM-tree dominated sandy coastal plain. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 21, p. 43-54, 2010.

ROSSETTI, D.F., ALMEIDA, S., AMARAL, D.D., LIMA, C.M. & PESSENDA, L.C.R. Coexistence of forest and savanna in an Amazonian area from a geological perspective. **Journal of Vegetation Science** 21: 120–132, 2010.

SALATI, E., J. MARQUES, Climatology of the Amazon region. In: H. SIOLI (Ed.): **The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**: 127- 166. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 1984.

SANAIOTTI, T. M.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; TRUMBORE, S. E.; CAMARGO, P. B. Past vegetation in Amazon savannas determined using carbon

isotopes of soil organic matter. **Biotropica** 34(1): 2-16, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00237.x>.

SANTOS, J.U.M.; AMARAL, D.D.; BASTOS, M.N.C.; SECCO, R.S.; COSTA-NETO, S.V.; COSTA, D.C.T. Vegetação da área de proteção ambiental Jabotitiua-Jatium, município de Viseu, Pará, Brasil. **Acta Amazonica**, 33: 431-444, 2001.

SANTOS, J.U.M.; ROSÁRIO, C.S. Levantamento da vegetação fixadora de dunas de Algodual - PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Botânica, 4: 133-151, 1988.

SANTIAGO, L.S.; MULKEY, S.S. Leaf productivity along a precipitation gradient in lowland Panama: patterns from leaf to ecosystem. **Trees**, Berlin, v. 19, n. 3, p. 349- 356, 2004.

SANTOS, L.C.A. **A eficiência da sementeira direta para a revegetação de uma jazida de cascalho na Fazenda água Limpa, APA Gama Cabeça de Veado, Brasília, DF.** 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SANTOS, U.M.; BASTOS, M. N. C. **Flores e frutos das restingas do Estado do Pará.** Belém, PA, Universidade Federal Rural da Amazônia, 246p, 2014.

SARMIENTO, G. **The ecology of neotropical savannas.** Harvard University, Cambridge, 235 p, 1984.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba, ESALQ, 56p., 1974.

SCARANO, F.R.; DUARTE, H.M.; RIBEIRO, K.T.; RODRIGUES, P.J.F.P.; BARCELLOS, E.M.B. Four sites with contrasting environmental stress in southeastern Brazil: relations of species, life form diversity, and geographic distribution to ecophysiological parameters. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 136, p. 345-364, 2001.

SCARANO, F.R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. **Annals of Botany**, 90: 517-524, 2002.

SCARANO, F.R., CIRNE, P., NASCIMENTO, M.T., SAMPAIO, M.C., VILLELA, D.M., WENDT, T., ZALUAR, H.L.T. 2004. **Ecologia vegetal: integrando ecossistema, comunidades, populações e organismos.** In: Pesquisas de longa duração na restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação (C.F.D. Rocha, F.A. Esteves & F.R. Scarano, eds.). RiMa, São Carlos, p.77-97, 2004.

SCARANO, F.R.; BARROS, C.F.; LOH, R.K.T.; DE MATTOS, E.A.; WENDT, T. Plant morpho-physiological variation under distinct environmental extremes in restinga vegetation. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 60, n. 1, p. 221-235, 2009.

SCHAEFER, C. E. G. R; MENDONÇA, B. A. F.; FERNANDES FILHO, E. I. **Geoambientes e paisagens do Parque do Viruá – Roraima: esboço de integração da**

geomorfologia, climatologia, solos, hidrologia e ecologia. Relatório Técnico ICMBIO, 2009.

SCHERER, A.; MARASCHIN-SILVA, F.; BAPTISTA, R.L.M. Florística e estrutura do componente arbóreo de matas de restinga arenosa no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 19:717-726, 2005.

SCHOLZ, A.; KLEPSCH, M.; KARIMI, Z.; JANSEN, S. How to quantify conduits in wood? **Front. Plant Sci.** 4, 1–11, 2013.

SEELIGER, U. Coastal foredunes of southern Brazil: physiography, habitats and vegetation. In: **Coastal plant communities of Latin America** (U. Seeliger, ed.). Springer, New York, p.367-381, 1992.

SENNA, C.S.F.; BASTOS, M.N.C. Caracterização dos gradientes florísticos. Pp.381-393. In: Jardim, M.A.G. (org.). **Diversidade biológica das áreas de proteção ambiental Ilhas do Combú e Algodão-Maiandeuá, Pará, Brasil**. Belém: MPEG/MCT/CNPq (Coleção Adolpho Ducke), 2009.

SHONGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p. 1-17, 2002.

SIH, A.; BOLNICK, D.I.; LUTTBEG, B.; ORROCK, J.L.; PEACOR, S.D.; PINTOR, L.M.; PREISSER, E.; REHAGE, J.S.; VONESH, J.R. Predator-prey naivete, antipredator behavior, and the ecology of predator invasions. **Oikos** 119, 610–621, 2010.

SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I.; EITEN, G. A Hectare of Cerrado. I. General Aspects of the Trees and Thick-Stemmed Shrubs. **Phyton**, 27:55-91, 1987.

SILVA JÚNIOR, M.C.; NOGUEIRA, P.E.; MUNHOZ, C.B.R.; RAMOS, A.E. **100 árvores do cerrado: guia de campo**. Brasília: Ed. Rede de sementes do Cerrado, 278p., 2005.

SILVA, R. M., MEHLIG, U.; SANTOS, J. U. M.; MENEZES, M. P. M. The coastal restinga vegetation of Pará, Brazilian Amazon: a synthesis. **Revista Brasileira de Botânica** 33(4): 563-573, 2010.

SILVA, R.M. **Taxonomia e fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea de dunas na restinga da Vila Bonifácio, península de Ajuruteua, Bragança, Pará**. Mestrado (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2008.

SILVA, S.M. **Diagnósticos das restingas do Brasil**. In: WORKSHOP DE Avaliação e ações prioritárias para conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha, 1999, Porto Seguro. Anais eletrônicos. Porto Seguro, Fundação BIO RIO, 1999.

SILVA, T. S. **Composição florística de um trecho de floresta da restinga na ilha do Mel, município de Paranaguá-Pr**. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Unicamp, São Paulo, 1990.

- SILVEIRA, M. **Vegetação e Flora das Campinaranas do Sudoeste Amazônico** (JU-008). Relatório de Defesa Técnica, Associação S.O.S. Amazônia, Rio Branco, 28 p., 2003.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 80, p. 363-364, 2014.
- SOUZA FILHO, P.W.M. Impactos naturais e antrópicos na planície costeira de Bragança. In: **Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental** (M.T. Prost & A.C. Mendes, eds.). Museu Paraense Emílio Goeldi/ Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Belém, p.133-144, 2001.
- STROPP, J. **Towards an understanding of tree diversity in Amazonian forests**. 168 f. Tese (Doutorado). Institute of Environmental Science, Utrecht University, 2011.
- SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. Pp. In: L.D.D. Lacerda; R. Cerqueira & B. Turcq (eds.). **Restingas: origem, estrutura, processos**. Niterói, CEUFF, 1984.
- SULTAN, S.E. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. **Trends in Plant Science** 5: 537- 542, 2000.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 720p, 2004.
- TANNER, E.V.J.; KAPOV, V. Leaf structure of Jamaican montane rain-forest trees. **Biotropica**, 14: 16-24, 1982.
- TAVARES, S. Contribuição para estudos da cobertura dos tabuleiros do Nordeste. **Boletim de Recursos Naturais da Sudene**, 2: 13-25, 1964.
- TESSLER, M.G.; GOYA, S.C. Processos costeiros condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia** 17:11-23, 2005.
- TING, I.P. **Monotropic CO₂ fixation and crassulacean acid metabolism**. In: Hatch, M.D., Osmond, C.B. & Slayter, R.O. (Eds.) Photosynthesis and photorespiration. Wiley Interscience, New York, p. 169-185, 1971.
- TINNIN, R.O.; MULLER, C.H. The allelopathic influence of *Avena fatua*: the allelopathic mechanism. Bull. **Torrey Bot. Club**, v. 99, p. 287-292, 1972.
- TSOAR, H.; ARENS, S. M. Mobilização e estabilização de dunas em climas úmidos e secos. **Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará** 3:131-144, 2003.
- TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; KALLIOLA, R.; LINNA, A.; DANJOY, W.; RODRIGUEZ, Z. Dissecting Amazonian Biodiversity. **Science** 269(5220): 63-66, 1995.
- VALLADARES, F.; MARTINEZ-FERRI, E.; BALAGUER, L.; PEREZ-CORONA, E.; MANRIQUE, E. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean

evergreen oaks : a conservative resource-use strategy? **New Phytologist**, Cambridge, v. 148, p. 79-91, 2000.

VALE, G. D. **O efeito do solo, inundação e topografia sobre as campinaranas inundáveis na Amazônia**. Mestrado (Dissertação de mestrado) - Instituto de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 84 f., 2011.

VICENTINI, A. A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú,. In: Borges, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C.; PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Brasil, p. 117-143, 2004.

VILAR, J.B.; ANDRADE, L.S.; LEITE, K.R.; FERREIRA, H.D.; CHEN, L.C. Assessment of genotoxicity and cytotoxicity of “lixreira” (*Curatella americana* L.) using the prophage λ induction test (SOS inductest). **Brazilian Journal Pharmacology Scientific**, 45: 491-496, 2009.

VIOLLE, C.; JIANG, L. Towards a trait-based quantification of species niche. **Journal of plant Ecology**, 2, 87–93, 2009.

VIOLLE, C. *et al.* Let the concept of trait be functional!. **Oikos** 116 (5): 882–892, 2007.
WALKER, B.; KINZIG, A.; LANGRIDGE, J. Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. **Ecosystems** 2 (2): 95–113, 1999.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. Tese de doutorado (Instituto de Ciências Biológicas - Departamento de Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília. 373p, 2006.

WEITHOFF, G.; ROCHA, M.R.; GAEDKE, U. Comparing seasonal dynamics of functional and taxonomic diversity reveals the driving forces underlying phytoplankton community structure. **Freshwater Biology** 60 (4): 758–767, 2015.

WESTOBY, M.; FALSTER, D.S.; MOLES, A.T.; VESK, P.A.; WRIGHT, I.J. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 33, 125–159, 2002.

WESTOBY, M.; WRIGHT, I. J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 21, n. 5, p. 261-268, 2006.

WITKOWSKI, E.T.F.; LAMONT, B.B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia**, 88. 486-493, 1991.

WITTMANN, F.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. The várzea forests in Amazonia: Flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. **Forest Ecology and Management**, 196, 199–212, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.060>

WITTMANN, F. *et al.* Tree Species Composition, Structure and Aboveground Wood Biomass of a Riparian Forest of the Lower Miranda River, Southern Pantanal, Brazil. **Folia Geobotanica**, v. 43, p. 397-411, 2008.

WORBES, M.; KLINGE, H.; REVILLA, J. D.; MARTINS, C. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of várzea forest in Central Amazonia. **J. Veg. Sci**, v. 3, p. 553-564, 1992.

WRIGHT, I.J. *et al.* The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, London, v. 428, n. 6985, p. 821-827, 2004.

WRIGHT, I.J. *et al.* Assessing the generality of global leaf trait relationships. **New Phytologist**, Cambridge, v. 166, n. 2, p. 485-96, mai. 2005.

WRIGHT, I.J. *et al.* Relationships among ecologically important dimensions of plant trait variation in seven neotropical forests. **Annals of Botany**, London, v. 99, n. 5, p. 1003-15, 2007.

ZANELLA, F. C. V. **Evolução da biota da Diagonal de formações abertas secas da América do Sul**. IN: CARVALHO, Claudio J. B. ALMEIDA, Eduardo A. B. Biogeografia da América do Sul: padrões e processos. São Paulo: Roca, 2013.

ZANNE, A. E. *et al.* Angiosperm wood structure: global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. **Am. J. Bot.** 97, 207–215, 2010.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se organizado sob a forma de artigo científico, como disposto nas normas de redação de dissertação da Universidade Federal Rural da Amazônia. O artigo segue as normas do periódico que será submetido.

Artigo:

ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *CURATELLA AMERICANA* L. (DILLENACEAE) EM UM GRADIENTE EDÁFICO EM FITOFISIONOMIAS ABERTAS AMAZÔNICAS

A ser enviado ao periódico *Plant Species Biology*.

Artigo Original

Atributos funcionais de *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) em um gradiente edáfico em fitofisionomias abertas Amazônicas

Wendell Vilhena de Carvalho¹, Grazielle Sales Teodoro², Karoline Chaves da Silva³, Ely Simone Cajueiro Gurgel⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Botânica Tropical, Museu Paraense Emílio Goeldi, Av. Perimetral 1901, Terra Firme, 66077-830, Belém, PA, Brazil. ²Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa S/N, Guamá, 66075-900, Belém, Pará, Brazil. ³Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa S/N, Guamá, CEP 66075-110, Belém, Pará, Brazil. ⁴Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTIC, Campus de Pesquisa, Coordenação de Botânica, Av. Perimetral, 1901 – Terra Firme, Belém, PA, Brasil, CEP 66017-970.

Resumo

Este estudo avaliou a ocorrência de variações nos atributos morfológicos foliares e anatômicos dos ramos em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) em três tipos vegetacionais abertos na Amazônia, adotando a hipótese de que as condições ambientais e disponibilidade de recursos levam a respostas plásticas em *C. americana*. Durante o período menos chuvoso amazônico, ramos e amostras de solo foram coletados na porção oriental da Amazônia em sete áreas (duas campinas, três savanas e duas restingas). Os atributos morfológicos mensurados foram: área foliar (LA), área específica foliar (SLA), espessura foliar (LT), teor de matéria seca foliar (LDMC) e densidade do ramo (WD) (N=10 ind./área). Foi utilizada as técnicas usuais em anatomia da madeira para calcular os atributos anatômicos: diâmetro do vaso (D), densidade dos vasos (VD), soma da área dos vasos (VA), índice de vulnerabilidade (VI), fração do lúmen do vaso (F), fração sem-lúmen (NF), condutividade hidráulica (Kh) e resistividade do lúmen (RL) (N=3 ind./área). *C. americana* foi capaz de desenvolver respostas estruturais às variações edafo-climáticas com variações mais expressivas nas folhas do que na madeira. Os atributos morfológicos apresentaram respostas plásticas mais significativas que as respostas anatômicas. Em relação a estratégia hidráulica a espécie investiu na eficiência no transporte de água em detrimento da segurança. Portanto, a espécie apresenta respostas plásticas o que a permite estabelecer com sucesso em diversas fitofisionomias abertas amazônicas que diferem em suas características edáficas.

Palavras-chave: morfo-anatomia funcional, relações planta-solo, atributos funcionais.

Introdução

Os atributos funcionais tratam-se de características morfológicas, fisiológicas e fenológicas que são determinantes sobre a capacidade das espécies em se estabelecer, sobreviver e se perpetuar em um determinado ambiente e podem favorecer a aquisição de recursos e a resistência à fatores de estresse (Sultan, 2000; Nock et al., 2016). Espécies co-ocorrentes em diferentes tipologias com distintas características climáticas e edáficas podem apresentar variações em seus atributos funcionais como resposta ao ambiente (Taiz & Zeiger, 2004; Araújo, 2005; Oelze et al., 2012; Silva et al., 2019).

Diante disso, alterações nesses atributos são resultado das demandas por recursos e variações locais nas condições bióticas e, principalmente, abióticas do ambiente em que vivem (Westoby et al., 2002; Reich et al., 2003; Lavorel et al., 2007; Valladares et al., 2007). Espécies que apresentam elevada plasticidade em seus atributos, ou seja, que conseguem alterar as suas características tem maior chance de sobreviver em cenários de mudanças climáticas (Violle et al., 2007; Weithoff et al., 2015).

Tais variações nos atributos podem explicar a distribuição das espécies e a organização das comunidades através de gradientes de luz, água e nutrientes (Violle et al., 2007; Sih et al., 2010; Cadotte et al., 2011; Weithoff et al., 2015; Chevin & Hoffmann, 2017). Logo, a plasticidade é uma resposta positiva que impacta o *fitness* das espécies através dos seus efeitos no crescimento, reprodução e sobrevivência (Mardegan et al., 2009; Beeckman, 2016).

A análise das estratégias CSR é uma ótima ferramenta para avaliar a plasticidade e a influência dos fatores edáficos e climáticos em espécies de plantas, identificando sua estratégia ecológica frente a interação entre estresses e distúrbios (Grime, 2001). As espécies podem ser classificadas quanto à habilidade de competir por recursos (competidoras – C), de tolerar estresses ambientais (tolerantes a estresses – S) e espécies de ambientes expostos a distúrbios frequentes (ruderais – R) (Grime, 1977; Grime, 2001). De acordo com os grupos da teoria CSR, espécies de plantas possuem conjuntos de atributos comuns que lhes confere plasticidade frente a variações ambientais (estresses e distúrbios) com respostas similares em diferentes ecossistemas (Grime, 2001).

Entre a complexa rede de vegetação Amazônica distribuída sobre florestas tropicais (Ab'Saber, 2003) existem áreas expressivas de vegetação aberta nos estados de Rondônia, Roraima, Amazonas, Pará e Amapá, ocupando uma extensão de até 267,164 km² ocorrendo como enclaves dentro de extensas áreas florestais (Carvalho & Mustin,

2017; Amaral et al., 2019; Rocha & Costa-Neto, 2019). Estas áreas apresentam solos pobres em recursos, impulsionada por um gradiente de disponibilidade de água nutrientes com condições ambientais diversas e desempenhando um forte efeito de filtragem e seleção das espécies que ocupam estes locais (Berlin et al., 2007; Mardegan et al., 2009; Alberto et al., 2013; Oostra et al., 2018).

Dentre estas, destaca-se as formações savânicas, ou vegetação savanóide amazônica com fisionomia do tipo "savana-parque" (Amaral et al., 2019). Apresentam espécies lenhosas baixas, tortuosas e espaçadas, ramificações irregulares e retorcidas, casca espessa e folhas coriáceas com evidências de queimadas em meio a um estrato herbáceo contínuo (Carvalho & Mustin, 2017; Ribeiro & Walter 2008). Solo com pH ácido, predominantemente arenoso, baixo teor de nutrientes como nitrogênio e fósforo, aluminizados, elevada concentração de argila e pouca matéria orgânica (Magnusson et al., 2008; Severo dos Santos & Naval, 2019; Soares et al., 2019).

As campinas apresentam forma de vegetação raquítica e esclerófila, predominantemente herbáceo-arbustiva que se desenvolvem sob solos arenosos em machas pequenas de baixa diversidade (Ferreira, 2009; Guido et al., 2017). São áreas caracterizadas por apresentarem baixa produtividade e solo com elevado oligotrofismo, acidez (Costa et al., 2020) e intenso déficit hídrico durante a estação seca (Ferreira, 2009; Mardegan et al., 2009; Luza et al., 2014; Adeney et al., 2016; Carlucci et al., 2016).

A restinga é a tipologia vegetacional que ocorre em faixas litorâneas arenosas de rápida infiltração e baixa retenção, caracterizadas por alta luminosidade e temperatura, ventos frequentes, sazonalidade, salinidade e acidez elevada, bem como escassez de nutrientes (Scarano, 2002; Araujo et al., 2004; Assis et al., 2004; Scarano et al., 2009; Oliveira et al., 2020). No litoral amazônico apresentam sete fisionomias que vão desde estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo movendo-se em direção ao interior do continente (Lane et al., 2008; Silva et al., 2010; Santos & Bastos, 2014).

Existem muitas diferenças ecológicas e fisiológicas entre as tipologias abertas (Carvalho & Carvalho, 2012). São fatores determinantes dessas fitofisionomias a composição florística, a formação do solo, a gênese geomorfológica, a presença de concreções no perfil, a proximidade à superfície do lençol freático, fertilidade, drenagem e o clima (Haridasan, 2000; IBGE, 2012; Brum et al., 2017).

Uma espécie que ocorre nestas diferentes tipologias vegetais é *Curatella americana* L. (Dilleniaceae), único representante do gênero *Curatella* no Brasil e apontada como de alto valor de importância ecológica e medicinal (Felfili et al., 2002;

Fujishima et al., 2020) para áreas do Cerrado. Na Amazônia, a espécie tem dispersão descontínua em áreas de florestas úmidas entre as campinas e savanas (Amaral et al., 2019) e teve seu primeiro registro de ocorrência nas restingas do litoral amazônico (Amaral et al., 2016). É uma espécie característica de ambientes com condições distróficas, ocorrendo em solos arenosos, ácidos e com baixo conteúdo de nutrientes (Fujishima et al., 2020).

Apesar da importância ecológica de *C. americana* no Cerrado e, atualmente, em tipologias abertas amazônicas, aparentemente poucos trabalhos relatam a caracterização estrutural e funcional da espécie. Dessa forma, a anatomia funcional comparativa entre indivíduos da mesma espécie em gradientes ambientais permite analisar suas estratégias em relação à disponibilidade nutricional e hídrica (Wright et al., 2004).

Permitindo identificar quais atributos funcionais estão ligados ao sucesso da espécie (Norberg, 2004; Violle & Jiang, 2009) de forma a exibir os ajustes hidráulicos e estratégias de eficiência *versus* segurança no transporte hídrico nos ramos (e.g. vasos maiores ou menores) (Wright et al., 2007; Weithoff et al., 2015; Chavana-Bryant et al., 2019), além de indicar estratégias foliares de aquisição *versus* conservação de recursos (e.g. capacidade fotossintética, espessura foliar, aquisição de luz e CO₂) (Violle & Jiang, 2009; Reich & Cornelissen, 2014; Walker et al., 2017). Auxiliando na compreensão dos processos evolutivos inerentes a esta flora na Amazônia (Nalley et al., 2014) e no entendimento dos potenciais efeitos das mudanças climáticas e ambientais na vegetação destes ecossistemas (Barnett et al., 2007; Cornelissen et al., 2003; Wright et al., 2004; Weithoff et al., 2015).

O uso de gradientes ambientais naturais que variam em relação ao clima ou a outras variáveis ambientais, tais como os fatores edáficos, mostram-se úteis para auxiliar na compreensão dos mecanismos de controle abiótico sobre os processos dos ecossistemas (Ackerly et al., 2000; Mardegan et al., 2009). Isto porque a magnitude destas alterações é capaz de afetar desde a composição e o desempenho ecofisiológico de diferentes indivíduos/espécies vegetais até as propriedades e o funcionamento do ecossistema (Díaz et al., 2004; Oyarzabal et al., 2008; Rosado; De Mattos, 2010).

Diante disso, entendendo que podem ocorrer variações nos atributos funcionais de plantas dependendo de sua necessidade fisiológica e que estas variam de acordo com o gradiente ambiental, este estudo avaliou se ocorre variações nos atributos morfológicos foliares e anatômicos dos ramos de *C. americana*. Testamos a hipótese de que as condições ambientais edáficas e climáticas influenciam os atributos de *C. americana*. Por

isso, (1) esperamos que as condições edáficas sejam semelhantes entre campinas e restingas, com solos mais arenosos, apresentando baixa capacidade de retenção de água no solo, diferindo das savanas amazônicas, com solos mais ácidos, elevadas concentrações de alumínio e maior capacidade de retenção de água no solo, devido sua textura argilosa. Esperamos que nas áreas mais arenosas os indivíduos estejam mais associados às características anatômicas, para manter uma eficiência no transporte de água. Já na savana, esperamos que os indivíduos estejam mais associados às características morfológicas, indicando o elevado grau de xeromorfismo nesta tipologia. (2) Esperamos que *C. americana* apresente variação em seus atributos morfológicos com variações maiores e mais expressivas nas folhas do que na madeira, pois necessita-se de um menor investimento em carbono para a construção de seus tecidos quando comparado à madeira. Devido às características edáficas limitantes nas tipologias abertas amazônicas, esperamos que a espécie seja altamente tolerante ao estresse (S).

Material e métodos

Área de estudo

Na Amazônia, as áreas abertas estão encravadas em meio à vasta floresta tropical chegando a ocupar uma extensão de até 112.961 km² só no estado do Pará (PA), região Norte do Brasil (Carvalho & Mustin, 2017; Amaral et al., 2019). Diante da importância destas tipologias vegetais abertas no ecossistema amazônico (Carvalho & Carvalho, 2012; Rocha & Costa-Neto, 2019), foram selecionadas sete áreas compreendendo as tipologias de savana, campina e restinga na porção oriental da Amazônia.

As áreas de savana localizam-se em Cametá, Alter-do-chão em Santarém e Jubim, no município de Salvaterra - Ilha de Marajó. A fisionomia vegetal analisada é do tipo "savana-parque", caracterizada pela presença de espécies lenhosas de porte baixo, isoladas em meio a um estrato herbáceo contínuo (Carvalho & Mustin, 2017; Amaral et al., 2019). As savanas ocorrem sob solos oligotróficos, predominantemente arenosos (Carvalho & Mustin, 2017), lixiviados, com altos teores de alumínio trocável (80%), concentrações de argila, pH ácido (5,2), baixos teores de N e P (Machado et al., 2004; Magnusson et al., 2008), baixa capacidade de troca catiônica e pouca matéria orgânica (Ribeiro & Walter, 2008). Os solos são dominados por gleissolos hidromórficos, ácidos e pouco drenados, com alguns podzols (Radambrasil, 1974; Amaral et al., 2019). O clima

é estacional, caracterizado por um clima tropical com temperatura média anual de 26° C todos os meses do ano, caracterizado por um período seco de três a quatro meses e chuvoso no restante dos meses (Moraes et al., 2005; INMET, 1992). A precipitação varia em torno de 600 mm na estação chuvosa a 50 mm na estação seca (INMET, 1992; Magnusson et al., 2002; Moraes et al., 2005; Rossetti et al., 2010) (Fig. 1-a,b,f). As áreas de savana apresentaram as maiores temperaturas (em torno de 30°C) no mês de novembro (Fig. 1-a,b,f).

As áreas de campina localizam-se em Itapuá, no município de Vigia e Campo da Mangaba, em Maracaná. A fisionomia vegetal apresenta forma de vegetação raquítica e esclerófila, predominante herbáceo-arbustiva que se desenvolve em machas pequenas com indivíduos com baixa estatura (máx. 3m de altura) (Vicentini, 2004). As campinas ocorrem sob solos podzol hidromórficos e areias quartzosas de baixa fertilidade natural, predominantemente latossolos amarelos, distróficos, adaptados ao solo Espodossolo (Embrapa, 2013; Costa et al. 2020). São predominantemente arenosos de elevada acidez e, em alguns casos, completamente inundados devido a um lençol freático raso, alternando com intenso déficit hídrico durante a estação seca (Adeney et al., 2016; Damasco et al., 2013; Mardegan et al., 2009; Vicentini, 2004). O clima é caracterizado por apresentar clima de monção, com moderada estação seca (Radambrasil, 1974). Apresentam a precipitação acumulada anual variando entre 50 mm a 500 mm e a umidade relativa do ar entre 80-85%. As menores temperaturas médias do ar ocorrem, geralmente, no mês de fevereiro (em torno de 28°C), mês típico da estação chuvosa, e tem seu ápice mais elevado no mês de novembro, representando o fim do período menos chuvoso e o início da estação chuvosa (verão x inverno amazônico) (INMET, 1992; Moraes et al., 2005; Pachêco & Bastos, 2006) (Fig. 1-c,d).

As áreas de restinga são: Salazar, localizada no município de Salvaterra e Turé, no município de Soure, ambas localidades pertencentes à Ilha do Marajó. A fisionomia analisada é do tipo "arbustiva aberta", caracterizado por plantas de hábito herbáceo, arbustivo e até arbóreo, esclerófilas, em moitas dispersas em manchas disjuntas (Amaral et al., 2008; Santos; Bastos, 2014). A restinga amazônica ocorre sob sedimentos arenosos pleistocênicos de origem marinha e quaternária (Araujo & Henriques, 1984), as principais classes de solos encontradas são Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (Gomes et al., 1998). São quimicamente pobres, predominantemente arenosos de rápida infiltração e baixa capacidade de retenção, tendo como principal fonte de nutrientes o *spray* marinho (Silva et al., 2010). Possuem fortes gradientes no solo de acidez, salinidade, umidade,

exposição a ventos e mobilidade do sedimento (Lortie & Cushman, 2007; Lane et al., 2008; Brunbjerg et al., 2012). Em Salvaterra, Ilha do Marajó, há apenas uma estação de captação dos dados atmosféricos, por este motivo a savana e a restinga que ocorrem nesta localidade possuem apenas um gráfico (Fig. 1-f). O clima é quente durante todo o ano com temperatura média em torno de 26 °C e mínimas de 18 °C. Tem por época mais chuvosa os meses de janeiro a junho com precipitação total acumulada mensal em torno de 600mm e, durante os meses mais secos, julho a novembro, inferior a 50 mm. Esta tipologia domina o clima Af na classificação de Köppen, caracterizado por apresentar clima equatorial (Bastos & Lobato, 1996; Furtado et al., 2006; Moraes et al., 2005; Silva et al. 2010) (Fig. 1-e,f). A ilha do Marajó é a área que apresenta o período menos chuvoso com os menores índices de precipitação (Fig. 1-e,f), sendo a restinga, então, a área mais próxima ao mar, no entanto com a menor quantidade de chuva.

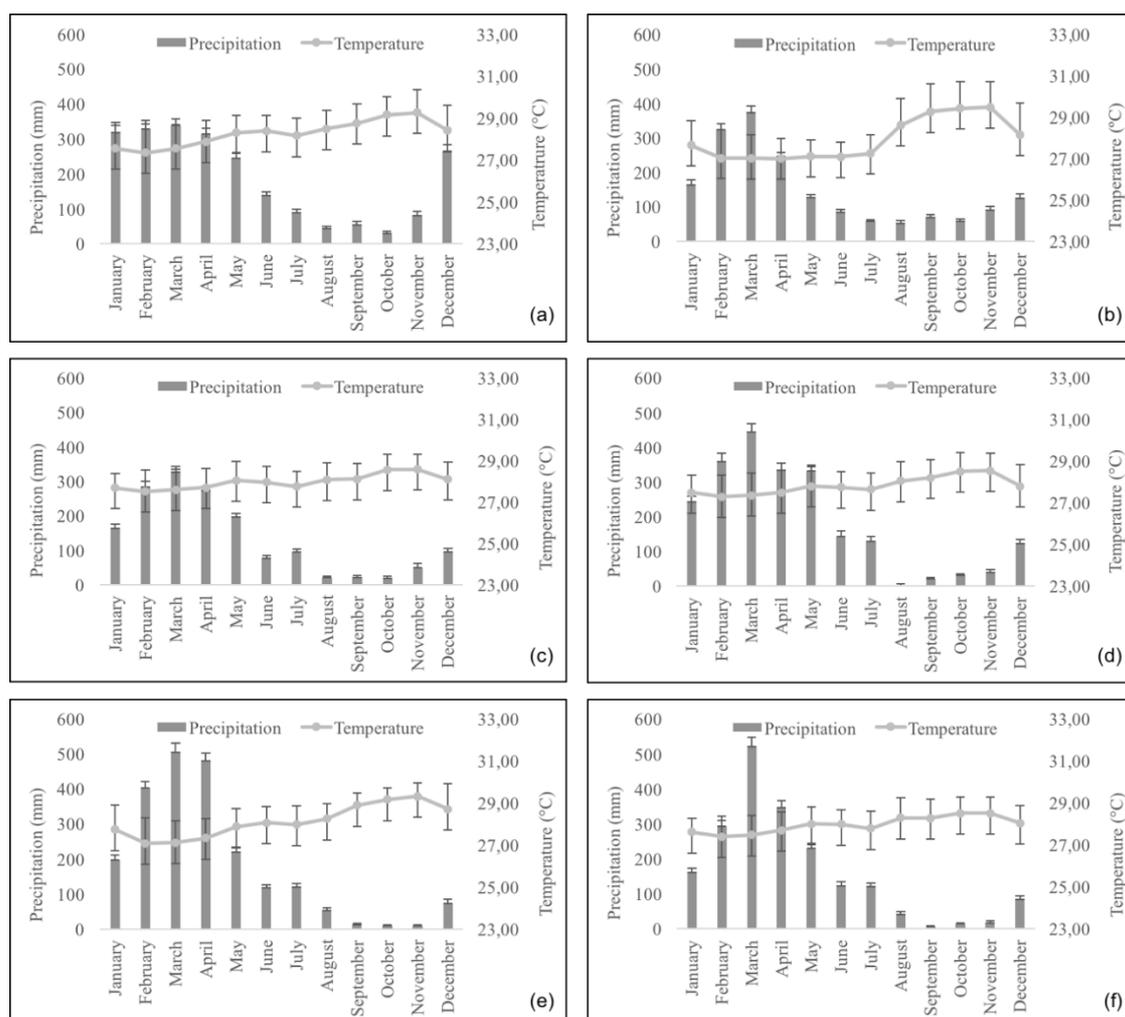


Figura 1. Valores médios de temperatura (°C) e precipitação total acumulada mensal (mm) dos anos de 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 das áreas analisadas. a) Cameté (SAV), b) Santarém (SAV), c) Maracanã (CAM), d) Vigia (CAM), e) Soure (RES), f) Salvaterra (SAV e RES). Fonte: Instituto Nacional

de Meteorologia (INMET) e Sistema de Monitoramento Agrometeorológico da EMBRAPA (AGRITEMPO). Legenda: SAV – savana, CAM – campina, RES – restinga, Precipitation – precipitação, Temperature - temperatura.

Amostragem

Foi estabelecido um número amostral (N) de 10 indivíduos por área, distantes 100m um do outro, coletados em outubro de 2018 (período menos chuvoso). Para cada indivíduo selecionado foi coletado o ramo mais alto possível a ser alcançado, com folhas totalmente expandidas e que estivessem completamente expostas à radiação solar, evitando folhas muito novas, com muita herbivoria ou aparentemente doentes (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

Nas proximidades de cada indivíduo de *C. americana* (projeção da copa) foram coletadas amostras de solo (aprox. 200g) a uma profundidade de 0 a 10cm, 10 a 20cm e de 20 a 40cm. Para as análises químicas e físicas, foi produzida uma amostra composta (N=3 ind/área) para as três profundidades e foram acondicionadas em sacos plásticos fechados, assim como os ramos, para minimizar a desidratação. O material fértil coletado foi identificado e incorporado ao acervo do Herbário do Museu Paraense Emílio Goeldi (MG).

Deste modo, a partir das amostras coletadas foram mensurados os atributos funcionais: atributos morfológicos, atributos anatômicos da madeira e características do solo.

Atributos morfológicos

De cada indivíduo foram coletados ramos (com folhas) e calculados cinco atributos funcionais: área foliar (LA), área específica foliar (SLA), espessura foliar (LT), teor de matéria seca foliar (LDMC) e densidade da madeira (WD) que melhor explicam as estratégias de uso e aquisição de recursos (água e nutrientes) por *C. americana* nas tipologias vegetais abertas.

Após coletadas, as folhas selecionadas foram acondicionadas para a reidratação em um recipiente com água durante 1 hora, posteriormente sua face adaxial foi fotografada com uma câmera digital e analisada no software ImageJ version 1.51, para a mensuração da área foliar. Posteriormente foram pesadas em uma balança digital com precisão de 0,0001g para a obtenção da massa saturada e, em seguida, acondicionadas em

estufa a 70 °C por 48h. Após este período, as folhas foram pesadas novamente em balança digital (0,0001g) para a obtenção do teor de matéria seca foliar.

Os estudos e análises foram conduzidos no Laboratório de Anatomia Vegetal (LAVEG) do Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi e no Laboratório de Ecologia de Produtores Primários (ECOPRO) da Universidade Federal do Pará. Para caracterização dos atributos foi seguido o protocolo presente em Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013).

Para medir a área foliar (LA) (mm²) foram fotografadas com uma câmera digital a face adaxial das 15 folhas (n=10 ind.) com escala (régua) e mensurado segundo o software ImageJ (Rasband, 2007). Este atributo está relacionado ao equilíbrio hídrico, captação de luz e trocas gasosas da planta (Cornellissen *et al.*, 2003).

A área específica foliar (SLA) (g m⁻²) é a razão entre a área foliar e a massa seca da folha. As folhas foram secas em uma estufa à 70 °C por 48h e pesadas em uma balança digital com precisão de 0,0001g. O SLA está relacionado ao gasto energético da planta na construção da folha, baseado principalmente em carbono (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013).

A espessura foliar (LT) (mm), através das medidas das folhas em três partes (base, meio e ápice) do limbo, com um paquímetro digital (precisão de 0,01 mm), evitando-se as nervuras principais. A LT está relacionada ao potencial hídrico e a assimilação de carbono das plantas, que reflete na resistência a herbivoria e na perda de água (Cornellissen *et al.*, 2003).

O teor de matéria seca foliar (LDMC) que está relacionado com a densidade média (massa fresca por volume fresco) dos tecidos da folha, obtida através da fórmula: LDMC = massa seca foliar (mg)/massa fresca foliar (g) e expressa em mg g⁻¹ (Witkowski & Lamont, 1991). O LDMC é positivamente relacionado a resistência a perigos físicos e eventos extremos (*Ex*: herbivoria, vento, granizo) (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013).

A densidade do ramo (WD) (g cm³) foi obtido a partir da divisão da massa seca pelo volume do ramo coletado. Para o cálculo, foram separadas três seções dos ramos coletados para cada indivíduo (N=10 ind./área) com diâmetros de 5 mm. De cada seção, foi removida a casca da madeira e submergidos em água por 48h para reidratação. Hidratadas, as seções foram imersas em um recipiente com água sobre uma balança digital (0,0001g), a partir do qual seus valores foram quantificados para a obtenção do volume a partir do deslocamento da água, ou princípio de Arquimedes (empuxo). De acordo com este princípio, a medida de massa da água deslocada é igual ao volume da

amostra da madeira (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Por fim, as secções dos ramos foram colocadas em estufa a 70°C por 72 horas para obtenção da massa seca (Bittencourt et al., 2016). A DM está correlacionada com características mecânicas como força, flexibilidade, desempenho e relaciona-se a resistência física, suporte mecânico, transporte e armazenamento de água (Cornelissen et al., 2003; Chave et al., 2009; Pérez-Harguindeguy et al., 2013; Reich & Cornelissen, 2014).

Através da AF, massa fresca saturada de água (mg) e massa seca (mg) foi calculado os valores relativos das estratégias CSR de *C. americana* para cada ambiente: savana, campina e restinga. O conjunto de dados foi inserido na ferramenta *StrateFy*, a partir da inserção dos valores dos atributos, e os valores de cada estratégia (C;S;R) foram gerados automaticamente (Pierce et al., 2017).

Atributos anatômicos

Também foram separadas duas secções do ramo (N=3 ind./área) para análises das características anatômicas da madeira. Estas foram fixadas em solução contendo etanol 45%, água 40%, 10% de formalina, 5% de ácido acético (FAA) e foram realizados cortes histológicos da secção transversal com espessura variando de 10 a 30 µm em micrótomo de deslize. Os cortes histológicos foram submetidos a um processo de clarificação em solução de hipoclorito de sódio (NaClO), corados em azul de Astra e Safranina 1% por um período de 2 minutos, seguindo a desidratação em série alcoólica etílica crescente de 50%, 70%, 90% e 100%. Após a desidratação etílica, os cortes foram transferidos para o acetato de butila durante 15 minutos e montados em lâmina com gelatina glicerizada 50% (C₃H₈O₃). As fotomicrografias foram realizadas em microscópio com câmera acoplada (Burguer & Richter, 1991; Kraus & Arduin, 1997).

A partir dos dados anatômicos da madeira caracterizamos 8 atributos: diâmetro do vaso (D), densidade dos vasos (VD), soma da área dos vasos (AV), índice de vulnerabilidade (VI), fração do lúmen do vaso (F), fração sem-lúmen (NF), condutividade hidráulica (Kh) e resistividade do lúmen (RL). Para caracterização dos atributos anatômicos foi seguido o protocolo presente em Scholz et al., (2013).

O diâmetro do vaso (D) foi obtido através do ImageJ (Rasband, 1997–2004), que analisa o perímetro de cada vaso através do recurso *Treshold* (seleção automática de estruturas de interesse com base em seus valores de cinza) em µm. Para obter o diâmetro do círculo é necessário dividir o perímetro por π , depois encontrar a raiz quadrada e

multiplicar o resultado por 2. Este método usa a seguinte fórmula para calcular a área do círculo: $A = \pi \times r$ (Scholz et al., 2013).

A densidade dos vasos (VD) (mm^2) é quantificada como o número médio de vasos por 1 mm^2 (Scholz et al., 2013), ou a frequência de vasos ocorrentes numa escala de $10000 \mu\text{m}$ (lente de aumento 10x).

A soma da Área dos Vasos (AV) (MM^2) é obtida através do ImageJ (Rasband, 2007) que analisa o perímetro de cada vaso através do recurso *Treeshold* e *Analyze particles* (contagem automática de células de um determinado tamanho ou forma).

O índice de vulnerabilidade ($\mu\text{m mm}^{-2}$) que é calculado usando o diâmetro do vaso (D, μm) e a densidade dos vasos (VD, mm^{-2}), calculado através da fórmula: $VI = D/VD$ (Scholz et al., 2013). O VI fornece uma indicação da planta para suportar a cavitação induzida por eventos extremos e a segurança no transporte hidráulico (Carlquist, 1977; Scholz et al., 2013).

A fração do lúmen do vaso (F) ($\text{mm}^2 \times \text{MM}^{-2}$) é calculada utilizando a densidade média dos vasos (VD) e a soma da área dos vasos (AV) (Zanne et al., 2010; Martínez-Vilalta et al., 2012), através da seguinte fórmula: $F = VD \times VA$ (Scholz et al., 2013). Já a fração sem-lúmen (NF) que determina a resistência mecânica da madeira (Zanne et al., 2010) é obtida pela fórmula: $NF = 1 - F$ (Scholz et al., 2013). Estes atributos estão relacionados a segurança no transporte hidrodráulico (Scholz et al., 2013).

O diâmetro hidráulico (H) (μm) é baseado no diâmetro circular do vaso D e foi introduzido para refletir a condutância real dos vasos através da Condutividade hidráulica (K_h) ($K_h = \pi D^4 / 128 \eta$) e Resistividade do lúmen (RL) ($R_L = 128 \eta / \pi D^4$), baseado na lei de *Hagen-Poiseuille* (Scholz et al., 2013).

Características do solo

Foram analisados os atributos químicos e físicos dos solos das tipologias vegetais ($n=3/\text{área}$) de 3 profundidades (0-10, 10-20, 20-40 cm). As análises químicas dos solos foram para fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), cálcio (Ca), cálcio + magnésio (Ca + Mg), pH, acidez potencial (H+ Al), capacidade de troca catiônica (CTC) total e efetiva, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). Já a análise física foi para os parâmetros granulométricos: argila, silte e areia grossa e fina, através de abertura nitro-perclórica, segundo os métodos de Sarruge & Haag (1974) e EMBRAPA (2013).

Análise dos dados

Para determinar se há diferenças nas características de solo entre as tipologias vegetais estudadas e, assim testar a primeira hipótese apresentada, realizamos uma Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA - Anderson 2001). Também realizamos uma análise de componentes principais (PCA) com os dados organizados em uma média de atributos *versus* uma matriz de ambientes (áreas) para determinar a maior variância entre os atributos selecionados.

Para testar a segunda hipótese, se há diferenças nos atributos morfológicos e anatômicos, utilizamos análise de variância (ANOVA) com teste post-hoc de Tukey, cuja as premissas de normalidade e homocedasticidade foram testadas.

Para testar a terceira hipótese, avaliando a similaridade entre as tipologias, realizamos uma Análise Hierárquica de Cluster (HCA), a partir da distância Euclideana, assim como, afim de analisar quais atributos estavam mais relacionados com cada tipologia, realizamos uma Análise de Redundância (RDA). Todas as análises estatísticas e gráficos foram realizados utilizando o software livre R (R Core Team, 2015) e Statistica considerando um nível de significância de $\alpha = 0,05$.

Resultados

Atributos do solo

Em relação aos dados de solo das áreas amostradas, os dois primeiros eixos da PCA explicaram juntos 60,3% da variação total dos dados (Tab. 1; Fig. 2). O primeiro eixo da PCA explicou 39,7% e está relacionado com as variáveis fósforo (P) e sódio (Na). O segundo eixo explicou 20,6% da variação total dos dados, estando relacionado às variáveis areia grossa, pH e acidez potencial (H+Al). Observa-se que a savana tem forte relação com os atributos físicos do solo, como: areia grossa, argila e silte. Para a restinga, nota-se que esta tipologia está fortemente correlacionada com o sódio (Na) e com o fósforo (P). Já a campina está mais relacionada com os atributos relacionados à acidez do solo, como pH e acidez potencial (H+Al) (Tab. 1; Fig. 2).

As tipologias diferem nas características químicas e físicas do solo (Permanova - $F=3.87$; $P=0.03$). Savana e campina não diferiram entre as características analisadas ($F=1.03$; $P=0.34$). Já savana e restinga diferem nas características do solo ($F=4.11$; $P=0.01$) e campina e restinga também ($F=6.55$; $P=0.02$).

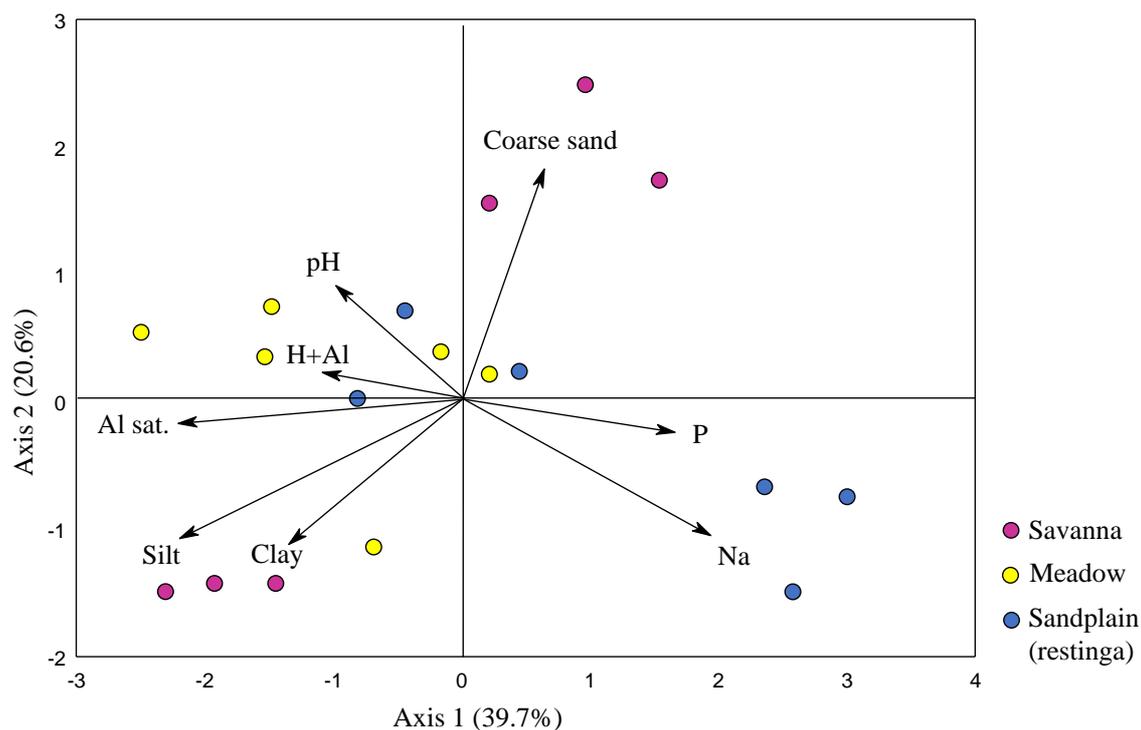


Figura 2. Ordenação da Análise de Componentes Principais (PCA) baseado em atributos químicos e físicos do solo. Fósforo (P), sódio (Na), acidez potencial (H+Al), saturação por alumínio (Al sat.), Acidez (pH), argila (Clay), silte (Silt) e areia grossa (Coarse sand). Legenda: Savanna – savana, Meadow - campina, Sandplain - restinga.

Tabela 1. Autovalores de dois eixos de uma análise de componentes principais (PCA) mostrando as correlações das variáveis de solo com os eixos da PCA. Em negrito estão representados os maiores valores em cada eixo.

Variáveis	Cód	Eixo 1	Eixo 2
Fósforo	P	0,793	0,033
Sódio	Na	0,580	-0,594
Acidez	pH	-0,363	0,458
Acidez potencial	H+Al	-0,649	0,074
Saturação por alumínio	Al sat.	-0,910	0,022
Areia Grossa	Coarse sand	0,161	0,921
Silte	Silt	-0,811	-0,331
Argila	Clay	-0,384	-0,354
Autovalor		3,178	1,653
Broken-Stick		2,717	1,717
% Explicação		0,397	0,206
% Acumulada		0,397	0,604

Atributos morfológicos

As tipologias diferem nas características morfológicas (Permanova-F=3,46; P=0,009). Savana e campina diferiram entre as características analisadas (F=3.55; P=0.05), assim como savana e restinga (F=3.22; P=0.04). Porém, a diferença mais acentuada é encontrada ao comparar campina e restinga (F=4.69; P=0.008).

A espessura foliar (LT) e o teor de matéria seca foliar (LDMC) foram maiores na savana, já a área específica foliar (SLA) foi maior na restinga (Fig. 3; Tab. 5). Campina e savana apresentaram valores de densidade da madeira (WD) aproximados, diferindo da restinga que apresentou WD mais baixa (Fig. 3; Tab. 5). A área foliar (LA) não diferiu entre as tipologias analisadas (Fig. 3; Tab. 5).

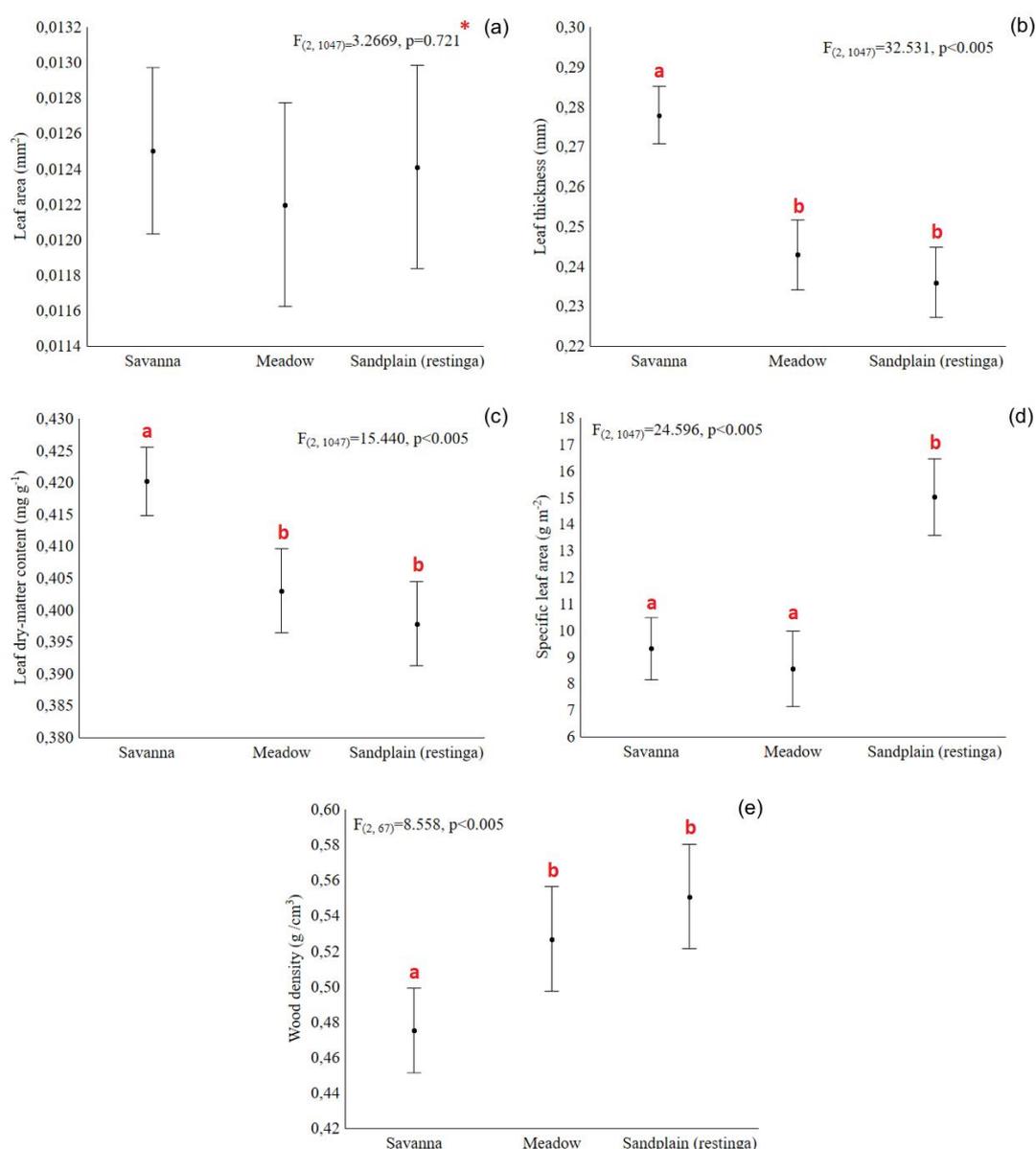


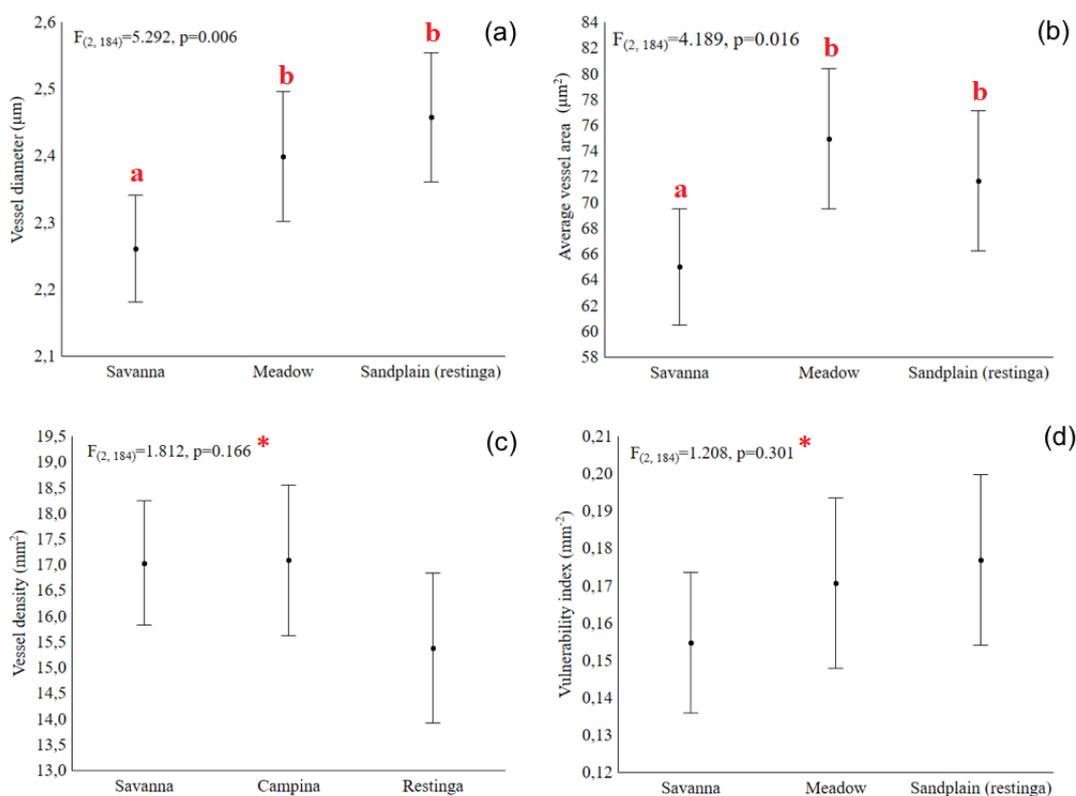
Figura 3. Análises de variância (ANOVA) com teste post-hoc de Tukey para atributos morfológicos em *C. americana*. a) Leaf area - área foliar (LA), b) Leaf thickness - espessura foliar (LT), c) Leaf dry-matter

content - teor de matéria seca foliar (LDMC), d) Specific leaf area - área específica foliar (SLA), e) Wood density - densidade da madeira (WD). (*) Não apresentaram diferenças significativas ($p < 0.05$). Legenda: Savanna – savana, Meadow - campina, Sandplain - restinga.

Atributos anatômicos da madeira

As tipologias diferem nos atributos anatômicos da madeira (Permanova- $F=3,80$; $P=0,007$). Campina e restinga não diferiram entre as tipologias analisadas ($F=0,84$; $P=0,40$). Savana e campina diferiram entre as características analisadas ($F=2,99$; $P=0,06$), porém, a diferença mais acentuada é encontrada na relação entre savana e restinga ($F=7.30$; $P=0,006$).

O diâmetro dos vasos (D) e a soma da área dos vasos (AV) foram menores na savana, com campina e restinga apresentando médias dos valores aproximados (Fig. 4; Tab. 6). O índice de vulnerabilidade (VI), a frequência dos vasos (VD), a fração do lúmen dos vasos (F), a fração sem lúmen (NF), a condutividade hidráulica (Kh) e a resistividade do lúmen (RL) não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as áreas analisadas (Fig. 4; Tab. 6).



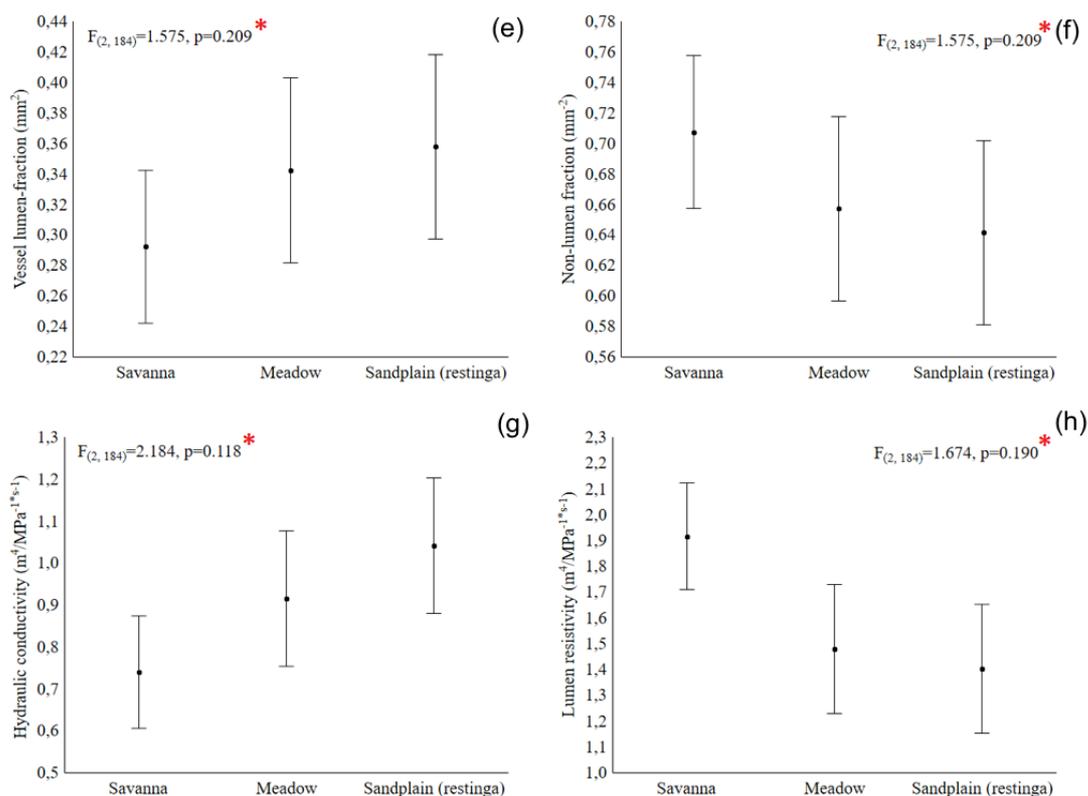


Figura 4. Análises de variância (ANOVA) com teste post-hoc de Tukey a um nível de significância de $\alpha = 0,05$ para atributos anatômicos da madeira em *C. americana*. a) Vessel diameter - diâmetro dos vasos (D), b) Average vessel area - soma da área dos vasos (AV), c) Vessel density - frequência dos vasos (VD), d) Vulnerability index - índice de vulnerabilidade (VI), e) Vessel lumen-fraction - fração do lúmen do vaso (F), f) Non-lumen fraction - fração sem lúmen (NF), g) Hydraulic conductivity - condutividade hidráulica (Kh), h) Lumen resistivity - resistividade do lúmen (RL). (*) Não apresentaram diferenças significativas (p<0.05). Legenda: Savanna – savana, Meadow - campina, Sandplain - restinga.

Análise das estratégias CSR

Para os 3 ambientes analisados, *C. americana* mostrou-se altamente tolerante ao estresse (S%), ocupando ambientes estressantes com baixo nível de distúrbio. Todas exibiram a estratégia S/CS com uma maior proporção de S% (em torno de 80%) e menor de C% (cerca de 20%) (Tab. 2).

Tabela 2. Proporções de estratégias CSR (%) para atributos funcionais de *C. americana* em savana, campina e restinga.

Área	C (%)	S (%)	R (%)	Estratégia
Savana	20,0	80,0	0	S/CS
Campina	19,2	80,8	0	S/CS
Restinga	19,2	80,8	0	S/CS

Análise Hierárquica de Clusters - HCA

Os dados obtidos pela HCA corroboram as tendências observadas através da análise de componentes principais (PCA), permitindo a formação de agrupamentos de tipologias que compartilham atributos próximos e/ou semelhantes.

Campina e savana formaram um agrupamento e mostraram similaridades que são capazes de agrupá-las quanto aos atributos químicos e físicos do solo, diferindo da restinga (Fig. 5a). Para os atributos morfológicos, a HCA demonstrou que campina e savana apresentam mecanismos de sobrevivência e aquisição de recursos semelhantes (Fig. 5b). Campina e restinga apresentaram similaridades nos atributos anatômicos da madeira, o que indica que a savana possui estratégias diferentes de resistência mecânica e eficiência hidráulica, frente à disponibilidade de recursos nos solos (Fig. 5c).

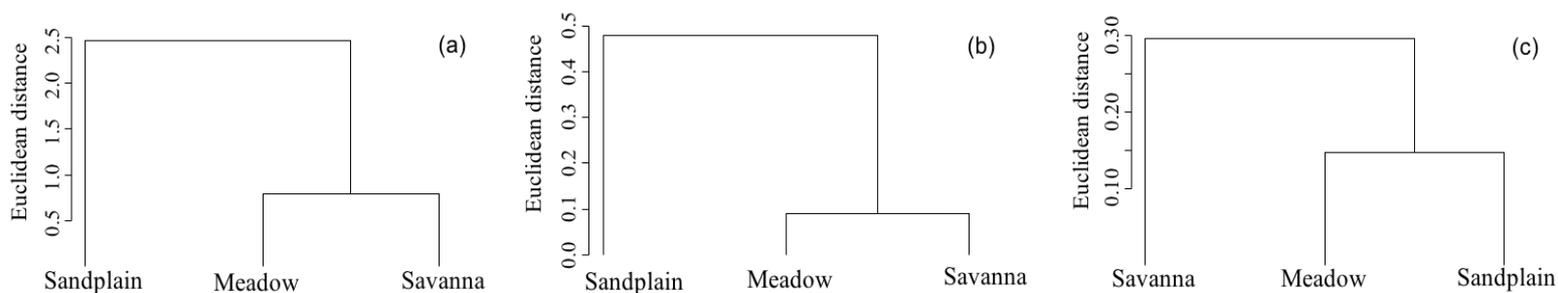


Figura 5. Dendrograma do agrupamento da similaridade entre as áreas. a) Atributos do solo, b) Atributos morfológicos, c) Atributos anatômicos da madeira. Legenda: Savanna – savana, Meadow - campina, Sandplain - restinga.

Análise de redundância - RDA

A RDA feita para analisar quais os atributos (morfológicos, do solo e da madeira) que mais se relacionaram com cada tipologia conseguiu explicar 70.7% da variação nos dois primeiros eixos ($df=15$; $F=1.2503$; $p=0.25$). O primeiro eixo da RDA explicou 49.9% e está relacionado com as tipologias savana e campina, enquanto o segundo eixo apresentou 20.8% de explicação e está mais relacionado com a restinga (Fig. 6).

Para a savana, quanto aos atributos do solo os elementos que mais influenciaram a sua composição foram: alumínio (Al), saturação por alumínio (Al sat.) e o Silte (Fig. 6). Os atributos morfológicos que mais estão relacionados à essa tipologia são: o conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) e espessura foliar (LT) (Fig.6). Em relação aos atributos anatômicos, as variáveis que melhor representaram a tipologia savana foram: fração sem-lúmen (NF), resistividade do lúmen (RL) e soma da área dos vasos (VA) (Fig. 6).

Para a campina, os elementos que mais influenciaram a sua composição foram: o pH, areia grossa, argila, cálcio + magnésio (Ca + Mg) e cálcio (Ca) (Fig. 6). O atributo morfológico que mais está relacionado à essa tipologia é a densidade da madeira (WD) (Fig. 6). Em relação aos atributos anatômicos, as variáveis que melhor representaram a tipologia campina foram: densidade dos vasos (VD), condutividade hidráulica (Kh), diâmetro do vaso (D), fração do lúmen do vaso (LF) e índice de vulnerabilidade (VI) (Fig. 6).

Para a restinga, quanto aos atributos do solo os elementos que mais influenciaram a sua composição foram: fósforo (P), saturação por bases (Base sat.), potássio (K), sódio (Na), areia fina, capacidade de troca catiônica efetiva (Effective CEC) e total (Total CEC) e acidez potencial (H+ Al) (Fig. 6). A área foliar específica (SLA) é o atributo morfológico que mais está relacionado à essa tipologia (Fig. 6). Nesta tipologia não houveram contribuições relevantes dos atributos anatômicos da madeira (Fig. 6).

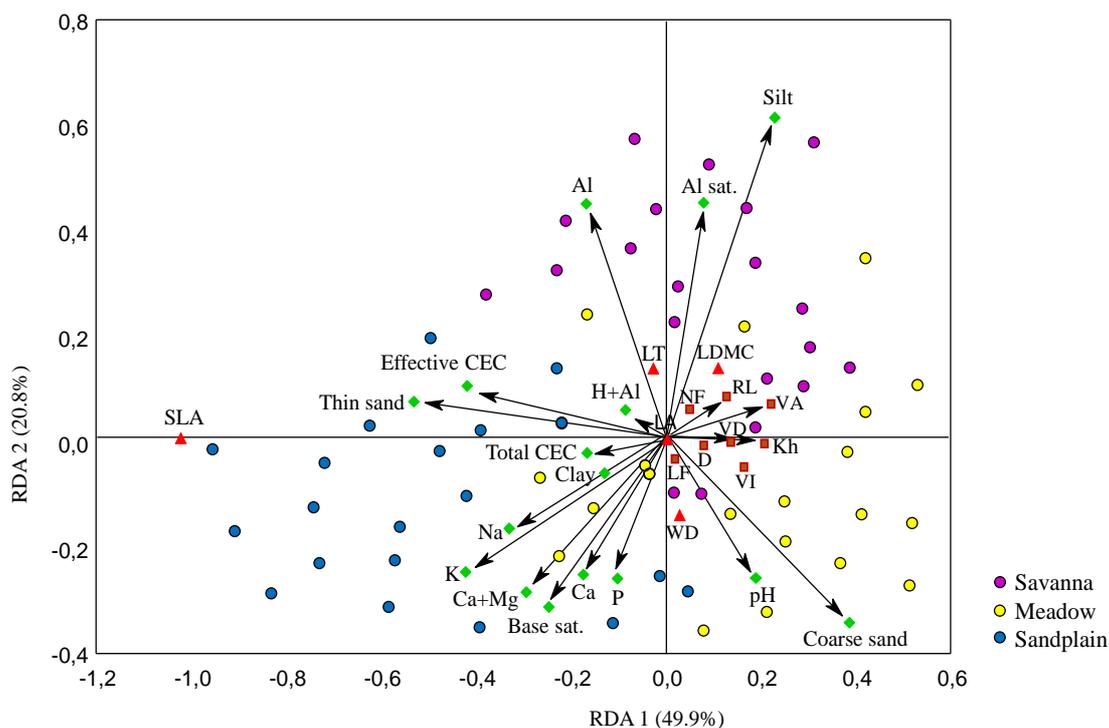


Figura 6. Análise de Redundância (RDA) entre as tipologias e os atributos morfológicos, de solo e da madeira. ▲ Atributos morfológicos: Specific leaf area - área específica foliar (SLA), Wood density - densidade da madeira (WD), Leaf dry-matter content - teor de matéria seca foliar (LDMC), Leaf area - área foliar (LA), Leaf thickness - espessura foliar (LT). ◆ Características do solo: Phosphor - fósforo (P), Potassium - potássio (K), Sodium - sódio (Na), Aluminum - alumínio (Al), Calcium - cálcio (Ca), Calcium + Magnesium - cálcio + magnésio (Ca+Mg), Hydrogen potential - potencial hidrogeniônico (pH), potential acidity - acidez potencial (H+Al), Total cation exchange capacity - capacidade de troca catiônica total (Total CEC), Effective cation exchange capacity - capacidade de troca catiônica efetiva (Effective CEC), Base saturation-V% - saturação por bases (Base sat.), Aluminum saturation- m% - saturação por alumínio (Al sat.), Clay - argila, Silt - silte, Coarse sand - areia grossa, Thin sand - areia fina. ■ Atributos anatômicos: Vessel diameter - diâmetro dos vasos (D), Average vessel area - soma da área dos vasos (VA), Vessel density - frequência dos vasos (VD), Vulnerability index - índice de vulnerabilidade (VI), Vessel

lumen-fraction - fração do lúmen do vaso (LF), Non-lumen fraction - fração sem lúmen (NF), Hydraulic conductivity - condutividade hidráulica (Kh), Lumen resistivity - resistividade do lúmen (RL).

Discussão

A hipótese 1 foi parcialmente corroborada, pois segundo a HCA campina e restinga não apresentam similaridades que são capazes de agrupá-las quanto aos atributos químicos e físicos do solo, apenas campina e savana formam um agrupamento compartilhando características edáficas semelhantes. A restinga está associada aos fatores químicos do solo, com maior quantidade de areia e baixa capacidade de retenção de água. As campinas estão associadas a características físicas do solo como areia grossa e argila. Já a savana apresentou características relacionadas a acidez do solo, como alumínio e saturação por alumínio. Não é possível associar campina e restinga às características anatômicas, nem savana às características morfológicas, já que cada tipologia investiu em atributos anatômicos e morfológicos específicos frente a variação no gradiente edáfico e climático.

A segunda hipótese foi corroborada, pois *C. americana* apresentou variação em seus atributos morfológicos frente a variação ambiental (climática e edáfica). Em relação a plasticidade, conforme esperávamos, as variações foram maiores e mais expressivas nas folhas do que na madeira. Os tecidos foliares são vistos como um órgão plástico e aclimatável aos fatores ambientais que necessita de um menor investimento em C para sua construção. As três tipologias analisadas apresentam ambientes estressantes com baixo nível de distúrbio e *C. americana* apresentou-se altamente tolerante ao estresse (S%) com estratégia do tipo S/CS.

Fatores edáficos nas tipologias abertas amazônicas

A disponibilidade de nutrientes nos solos é fundamental para o desenvolvimento de diferentes estratégias de alocação de recursos nas plantas, influenciando nas variações em atributos morfoanatômicos (Lü et al. 2012; Melo Júnior & Boeger, 2015; He et al. 2015). Os fatores químicos e físicos do solo afetam a estrutura e a composição química da madeira do caule (Kostiainen et al. 2004), a arquitetura hidráulica (Bucci et al. 2006; Faustino et al. 2013), aumentando o crescimento, a fotossíntese e a transpiração das plantas (Goldstein et al., 2013; Fabiańska et al. 2019).

Há um forte efeito de filtro ambiental nestas áreas, com solos possuindo baixa capacidade de retenção de água, acentuada perda de nutrientes por lixiviação, além de elevada aluminação dos solos (Scarano, 2002; Boeger et al., 2004; Louw-Gaume et al., 2010; Quesada et al., 2011; Lü et al., 2012; Lüttge, 2019; Amaral et al., 2019). A análise química do solo evidenciou o caráter distrófico dos solos das formações abertas estudadas, indicado pela saturação por bases (pouco férteis) = $V\% < 50\%$ (Han et al., 2019; Rodrigues et al., 2019).

O pH do solo das três tipologias é considerado de alta acidez (em torno de 5,0) e de baixa fertilidade, comuns em ambientes tropicais, onde geralmente a alta precipitação e a temperatura intensificam os processos de intemperismo e favorecem o envelhecimento do solo (Crespo-Mendes et al., 2019). Aliado a isso, a análise da acidez potencial revelou o potencial elevado ($\pm 5,0$) destas tipologias em acidificar os solos, o que afeta o estabelecimento das comunidades vegetais (Santos-Filho et al. 2013; Ghosh & Mishra, 2020) e reduz as taxas de decomposição no solo (Middleton, 2020).

As variações edáficas demonstraram, por meio da PCA (Fig. 3) e PERMANOVA ($F=3.87$; $P=0.03$) haver diferenças significativas entre as formações. A campina e a restinga possuem fortes correlações com os fatores químicos do solo, já a savana é positivamente correlacionada com os fatores granulométricos do solo.

Segundo a PCA, as campinas são fortemente correlacionadas com acidez potencial e pH (Fig. 3), apesar destes atributos não apresentarem variações estatísticas significativas (Fig. 8). Segundo a RDA, os elementos que mais influenciaram a sua composição foram: o pH, areia grossa, argila, cálcio + magnésio (Ca + Mg) e cálcio (Ca), indicando que a maior capacidade de retenção de água no solo, devido sua textura mais argilosa, é encontrada nas campinas (Fig. 6 e 7).

O Ca e o Ca+Mg são considerados benéficos nestas áreas (Souza & Lobatto, 2004; Gatiboni et al., 2019). Esta relação é responsável por influenciar diretamente na manutenção do equilíbrio entre alcalinidade e acidez do meio (Mavi et al., 2012; Hayes et al., 2019; Zhu et al., 2019; Gondwe et al., 2019), importantes no crescimento vegetal (Abrão et al. 2015; Li et al. 2017; Das et al. 2018; Portela et al. 2019).

A produtividade vegetal em áreas de campinas é provavelmente limitada pelos fatores granulométricos do solo (Oliveira et al. 2015) que tem influência direta na estrutura e textura edáfica destas áreas, principalmente devido a areia grossa e argila serem responsáveis pela provável baixa capacidade de infiltração e retenção de água e nutrientes (Fig. 8).

Na restinga os elementos químicos que mais influenciaram sua composição foram fósforo (P), saturação por bases (Base sat.), potássio (K), sódio (Na), areia fina, capacidade de troca catiônica efetiva (Effective CEC) e total (Total CEC) e acidez potencial (H+ Al) (Fig. 6).

Nas três áreas o potássio (K) foi classificado como baixo ($<91\text{mg/dm}^3$) (Sousa & Lobato, 2004; Coelho et al., 2020). Já na restinga, foi encontrado em maiores valores provavelmente atenuando os efeitos nocivos causados pela salinidade, reduzindo as taxas de transporte de sódio no xilema e sua acumulação nos órgãos aéreos das plantas (Rodrigues et al. 2012; Costa et al., 2019). É um dos macronutrientes essenciais para as plantas e pode influenciar positivamente a produção de matéria seca nestes ecossistemas abertos (Andrade et al. 2010; Li et al., 2017; Das et al., 2018).

Nas áreas de restinga a capacidade de troca catiônica efetiva (Effective CEC) e total (Total CEC) está intimamente ligada ao teor de matéria orgânica dos solos e que juntos contribuem para a retenção de nutrientes no solo (Ruivo et al. 2005, Guedes et al. 2006). No entanto, os valores de CTC são baixos ($<5,5\text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), armazenando assim pouca quantidade de cálcio, magnésio, potássio, sódio, hidrogênio e alumínio (Ferraz et al., 2019; Li et al., 2019).

Estes solos de baixa capacidade de troca catiônica apresentam alto teor de areia, maior lixiviação de N e K, baixas concentrações de calcário e baixa capacidade de retenção de água, além de baixa resistência a degradação química (Molina, 2014; Gatiboni et al., 2019; Kloster et al., 2019).

A RDA demonstrou que a savana tem mais afinidade com os atributos químicos alumínio (Al) e saturação por alumínio (Al sat.), apresentando solos mais ácidos e mais saturados por alumínio com maior quantidade de silte (Fig. 6). Estas áreas apresentam solos álicos, pobres em cálcio e altas concentrações de alumínio ($>45\text{ cmol}_c/\text{dm}^3$).

Apesar do alumínio não apresentar diferença estatística significativa entre as tipologias (Fig 8), sua presença associada a baixos níveis de cálcio dificulta a absorção de água e a captura de nutrientes pelas plantas, provocando o desenvolvimento de um sistema radicial superficial e alterações na morfologia e fisiologia vegetal nestas áreas (Casagrande 2003; Ronquim, 2010).

A elevada saturação por alumínio (m) nas áreas de savana é responsável pela toxidez vegetal e considerado altamente prejudicial para as plantas (Silva et al., 2019; De Vargas et al., 2019). O intemperismo destes solos aumenta os valores de m%, já que a argila intemperizada aumenta a liberação de Al (Fagundes et al., 2019), isto ocorre em

solos compactados como visto nas áreas de campina e savana que apresentaram valores de argila e m% aproximados.

Demonstramos que os solos das áreas de restinga, campina e savana apresentam disponibilidade de P muito baixa, semelhante aos solos empobrecidos de P do mundo (Lambers et al. 2010, 2014). Estes valores baixos podem influenciar diretamente em especializações morfológicas e baixas concentrações de nutrientes foliares (Oliveira et al. 2015).

No geral, segundo a HCA (Fig. 5) savana e campina apresentaram solos que compartilham atributos químicos (Fig. 5; Tab. 8) e físicos (Fig. 4; tab. 9) com valores médios aproximados. Atributos como AG e silte apresentaram valores aproximados, assim como Ca, Ca+Mg, Na, P, K, CTC efetiva e St Base (Fig. 8).

Atributos funcionais de *Curatella*

C. americana apresenta elevada amplitude morfológica que reflete em ajustes adaptativos morfofuncionais e anatômicos, indicando que o ambiente atua como um filtro ambiental selecionando atributos de resistência e eficiência. Estes fenótipos estão vinculados à ecofisiologia, estratégia ecológica da história de vida, coexistência, evolução e funcionamento do ecossistema (Walker et al., 2017; Garnier, 2017).

A folha é um relevante indicador ecológico ou sinecológico em virtude do desenvolvimento de estratégias adaptativas associadas às distintas condições abióticas às quais está submetida (Royer et al., 2009; Peppe et al., 2011). Obtida como um órgão altamente plástico e aclimatável aos fatores ambientais (Gratani et al., 2006; Araujo et al., 2019).

Na restinga o investimento em SLA é mais evidente do que em áreas de campina e savana, apresentando folhas finas e maior eficiência na captura de luz, maiores taxas fotossintéticas, mas provavelmente mais suscetível a danos físicos e à herbivoria (Cerabolini et al., 2010; Soares et al., 2012; Chavana-Bryant et al., 2019). Possivelmente uma resposta aos períodos de déficit hídrico durante o período menos chuvoso (jul-nov), que são mais intensos nas áreas de restinga.

A savana é o ambiente que mais investe em LT e LDMC, refletindo nestas áreas uma maior resistência a herbivoria, perigos físicos e a perda de água pela planta (Cornellissen et al., 2003; Pérez-Harguindeguy et al., 2013), como uma resposta as elevadas temperaturas nas áreas de savana, maiores do que nas áreas de restinga e

campina. A WD foi menor neste ambiente, diferindo da campina e restinga, sugerindo que esta tipologia está positivamente correlacionada com a sobrevivência.

Tais estratégias conservativas, como folhas eficientes na condução, proteção e controle da transpiração, a partir de valores acentuados de LDMC e LT, resistência física, suporte mecânico e flexibilidade nos ramos (relacionados a densidade da madeira) influenciam diretamente o desempenho de *C. americana* (Boeger e Gluzezak, 2006; Chave et al., 2009; Pérez-Harguindeguy et al., 2013, Reich & Cornelissen, 2014; Walker et al., 2017; Teegalapalli et al., 2019).

Plantas que crescem em solos arenosos com baixa fertilidade e retenção de água possuem folhas com características xeromórficas, elevado LT e LDMC (Cao, 2000), vistos em indivíduos da savana. Estes atributos são indicadores de produtividades em ambientes sob estresse (Niklas e Christianson, 2011) e da fertilidade do solo (Hodgson et al., 2011), atuando como um importante *driver* ambiental que controla o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Shipley et al., 2006).

A precipitação e a temperatura tem fortes efeitos nestas áreas abertas (savana, campina e restinga), atuando diretamente na composição das espécies, tamanho da população e afetando principalmente a germinação das sementes, o crescimento e a sobrevivência das mudas (Robinson et al., 2013; Zhu et al., 2014; Yan et al., 2015).

O caule tem a capacidade de registrar na madeira os eventos microclimáticos e suas variações sazonais, assim como a oferta ou a escassez de recursos no ambiente (Kedrov, 2012; Carneiro et al., 2019). Além disso, as características anatômicas do ramo são importantes para compreender as estratégias hidráulicas das plantas, o que é bem importante nesses ambientes que possuem solo muito arenoso e, portanto, baixa capacidade de retenção de água. Já que o solo influencia diretamente na retenção tanto de nutrientes como de água e nos ajustes morfoanatômicos necessários para o desenvolvimento vegetal (Sperry, 2003; Pitterman, 2010).

Madeiras de baixa densidade, como visto em *C. americana* indicam o baixo investimento em recursos e C para sua construção, de modo que uma determinada extensão de volume do caule seja construída a baixo custo (Jacobsen et al., 2005; van Gelder et al., 2006; Poorter, 2008; Osunkoya et al., 2007). No entanto, apresentam alta condutividade e segurança biomecânica (Stratton et al., 2000; Meinzer, 2003; Bucci et al., 2004; Santiago et al., 2004; Swenson & Enquist, 2007), mas também altas taxas de mortalidade devido à maior suscetibilidade à quebra de caules ou ação de patógenos (Roderick, 2000; Choat et al., 2008; Poorter, 2008; Chave et al., 2009).

A WD é um bom preditor de respostas das plantas à disponibilidade de água (Rosado et al., 2013) e de resistência ao embolismo em ambientes secos (Sperry, 2003), pois protege a condutividade em função da queda do potencial hídrico no xilema (Westoby e Wright, 2006). Conectada a isso, a baixa WD tem sido associada a espécies intolerantes à sombra, de sucessão precoce (Sterck et al., 2006; Poorter, 2008; Perez et al., 2013), o que condiz com o hábito heliófito de *C. americana*.

A anatomia ecológica da madeira tem possibilitado compreender as variações que ocorrem na estrutura anatômica das plantas em decorrência das alterações nas variáveis ambientais, contribuindo para o entendimento da evolução da diversidade do xilema secundário e seu potencial adaptativo predizer respostas ecológicas em relação ao efeito da disponibilidade de água (Vieira & Lisi, 2019; Zumaya-Mendoza et al., 2019). Atributos como o diâmetro dos vasos (D), frequência dos vasos (VD), soma da área dos vasos (AV) e fração do lúmen dos vasos (F) estão diretamente associados a resistência mecânica e ao transporte hídrico, sendo bons descritores da eficiência hidráulica e dos *trade-offs* apresentados pelas plantas frente à limitação da disponibilidade hídrica (Bittencourt et al., 2016, Apgaua et al. 2017; Morris & Gibson-Roy, 2019).

Nosso estudo mostrou que os indivíduos da campina e restinga apresentaram valores aproximados de D superiores aos da savana, indicando assim maior eficiência hidráulica. Mesmo a restinga e a campina apresentando valores aproximados no D, o AV indicou que a campina apresenta maior área da madeira ocupada por vasos (MM^2).

O xilema de maior diâmetro (D) é mais eficiente no transporte de água do que o xilema de menor diâmetro, uma vez que vasos mais estreitos implicam uma maior aderência das moléculas de água às paredes dos vasos, impedindo a formação de bolhas em seu interior (Castro et al., 2009). Mas também é mais vulnerável ao embolismo (Schenk et al., 2019; Brodersen et al., 2019) e implosão dos elementos condutores (Brodrigg & Holbrook, 2005) que por sua vez podem levar a cavitação (Tyree & Zimmerman, 2002; Bartlett et al., 2016; Pratt & Jacobsen, 2016; Walker et al., 2017) e à consequente perda ou diminuição da capacidade de condução (Jacobsen et al., 2005).

Para muitas espécies, a eficiência da condutividade hidráulica da madeira é inversamente relacionada à segurança no transporte (Baas et al., 2004; Sperry et al., 2003). Este *trade off* entre segurança vs eficiência revelou que *C. americana* investe mais em eficiência na condutividade hidráulica e, por possuir um sistema hidráulico mais vulnerável tende a compensar em folhas mais resistentes com altos valores de EF e SLA. A alta frequência de elementos de vaso e seu diâmetro também são enquadrados como

características comuns a espécies pioneiras que sobrevivem em ambientes xéricos (Baas & Wheeler, 2011; Anderegg & Meinzer, 2015; Apgaua et al., 2019).

Apesar da frequência dos vasos (VD) apresentar valores de baixa significância, savana e campina mostraram valores médios aproximados de VD por mm^2 , maiores do que as da restinga, representando uma resposta à maior necessidade de captação hídrica pelas plantas nos solos dessas formações, devido à baixa disponibilidade hídrica. Este aumento na frequência dos vasos constitui uma estratégia para manter uma condutividade suficiente e segura (Baas et al., 2004; Phillips et al., 2019). Além disso, a restinga apresentou vasos de maior D e baixa frequência (VD).

Foram encontrados valores de VI abaixo de 1,0 ($0,15 \pm 0,18$), sugerindo um alto grau de xeromorfia em *C. americana* em áreas abertas da Amazônia oriental, semelhantes aos baixos valores encontrados para espécies de restinga (Melo-Junior & Boeger, 2017). Além disso, valores baixos do VI indicam maior resistência à cavitação (Carlquist 1977).

Diferenças não significativas encontradas no diâmetro hidráulico analisado nestas tipologias vegetais reforça a complexidade desse componente do xilema secundário, relacionado ao desempenho de múltiplas funções e, portanto, igualmente influenciado por vários fatores (Zieminska et al., 2013). Esse *trade-off* é diretamente influenciado pelos vasos e por seus atributos (diâmetro, frequência e comprimento), mas também pelas fibras que fornecem o suporte mecânico, de modo a evitar o colapso dos vasos sob pressões negativas, assim como os parênquimas axial e radial, que funcionam como um reservatório e para a recuperação de vasos embolizados (Salleo et al., 2004; Secchi & Zwieniecki, 2011).

O baixo valor de Kh encontrado indica um reduzido fluxo de água para as folhas, impactando a produção fotossintética e, conseqüentemente, o crescimento das árvores (Tyree 2003). Goldstein et al. (2013) mostraram que quanto maior a disponibilidade de nutrientes, maior a resistência à cavitação devido ao fato de as plantas operarem com potenciais hídricos mais negativos.

A relação do tecido sem-lúmen (NF) também está relacionado à segurança hidráulica, com a alta densidade aumentando a capacidade de evitar a implosão do vaso e, portanto, indiretamente ligada à capacidade de evitar embolias induzidas pelos eventos de seca (Hacke e Sperry, 2001; Hacke et al., 2006). Além disso, tecidos de baixa densidade como vistos em *C. americana* podem armazenar mais água que tecidos de alta densidade (Stratton et al., 2000; Bucci et al., 2004; Santiago et al., 2004; Pratt et al., 2007; Scholz et al., 2007). Este armazenamento provavelmente está ocorrendo fora dos vasos

no lúmen da fibra (Pratt et al., 2007), talvez no parênquima. Como vistos para outras espécies com baixa densidade de madeira (Jacobsen et al., 2007).

As estruturas de condução e armazenamento são os principais caracteres funcionais da madeira, responsáveis por manter a fisiologia das árvores sob estresse hídrico (Anderegg & Meinzer, 2015; Pineda-García et al., 2015; Nogueira et al., 2019). Atributos de estocagem de água em função dos solos de baixa capacidade de retenção visam estratégias mais conservativas que as favorece por garantir uma maior tolerância a escassez hídrica (Cornelissen et al., 2003; Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

C. americana em tipologias de restinga, savana e campina obteve as maiores proporções de valores S%, evidenciando sua alta capacidade em lidar com a filtragem ambiental apresentada pelas condições edáficas e são comumente encontradas em ambientes caracterizados por uma baixa intensidade de distúrbios (Grime, 1977; Cerabolini et al., 2010). Mesmo que a espécie apresente adaptações específicas em seus atributos de acordo com cada contexto ambiental, esta também possui conjuntos de atributos comuns que lhe confere respostas plásticas similares a estresses, distúrbios e às variações temporais na disponibilidade de recursos em diferentes tipologias vegetacionais, característicos da estratégia C/S (Grime, 1977; Walker et al., 2017).

O conjunto de atributos analisados neste estudo estão altamente associados à conservação de recursos, representando um resultado adaptativo do processo de seleção natural que pode favorecer estas combinações específicas de atributos em tais circunstâncias ambientais (Westoby et al., 2002; Westoby & Wright, 2006; Wright et al., 2007; Laughlin, 2013). O padrão de dominância da espécie nestes ambientes pode não ser satisfatoriamente explicado pelo conjunto de atributos foliares (LA, LDMC e SLA) utilizados no cálculo de proporções relativas de estratégias do StrateFy, demonstrando que diferentes combinações de características estão associadas à capacidade de lidar com a variação na disponibilidade hídrica e de nutrientes (Bhaskar & Ackerly 2006; Pivovarov et al. 2015; Alonso et al., 2018).

No entanto, o simples reconhecimento dos atributos funcionais que potencialmente influenciam no estabelecimento, sobrevivência e aptidão reprodutiva das espécies é determinante ao entendimento de como esses atributos se relacionam à capacidade das plantas em adquirir, utilizar e conservar os recursos (Boeger et al., 2004; Reich et al., 2004). Além de possibilitar o desenvolvimento de modelos que integrem fatores climáticos e características funcionais das plantas (Queseda et al., 2009; Aleixo et al., 2019).

Para os atributos morfológicos e anatômicos campina e restinga apresentaram atributos de sobrevivência e aquisição de recursos semelhantes, tais como valores médios aproximados de LT, LDMC, WD (Fig. 6; Tab. 6), AV, D, VI, F, NF e RL (Fig. 7; Tab. 7); indicando que estas áreas compartilham estratégias semelhantes frente à escassez de recursos nos solos. No entanto, savana e campina são as áreas que apresentaram variações mais expressivas nas folhas e madeira, aceitando parcialmente a hipótese 3.

Os atributos morfológicos: LT, LDMC, SLA, WD, e anatômicos: AV e D foram os que melhor explicaram os ajustes morfoanatômicos de *C. americana* frente a variações ambientais de cada tipologia.

Conclusão

Os resultados deste estudo demonstram que *C. americana* foi capaz de desenvolver respostas estruturais às variações edafo-climáticas impostas pelo ambiente. Os atributos morfológicos apresentaram respostas plásticas mais significativas que as respostas anatômicas, assim como a folha refletiu mais que a madeira a variação ambiental.

A savana é a tipologia que mais investe em atributos morfológicos relacionados a uma estratégia mais conservativa (menor SLA, maior LDMC, maior LT), no entanto, apresentou menores valores de WD. Em relação à anatomia dos ramos, os indivíduos apresentaram vasos com menores diâmetros, menor soma da área dos vasos e baixa frequência, se comparada à campina e restinga.

Em relação a estratégia hidráulica, *C. americana* investe na eficiência em detrimento da segurança no transporte hídrico, vista neste trabalho como uma espécie co-ocorrente de alta variação fenotípica com um amplo espectro de colonização e tolerante ao estresse. Apontada então como menos suscetível a mortalidade frente a eventos climáticos extremos.

As áreas abertas são ambientes modelos para estudar a plasticidade e a variação nas características das espécies devido sua heterogeneidade ambiental que se traduz em uma grande variação na disponibilidade de nutrientes e água no solo e em condições de luz distintas. Logo, nossos resultados têm implicações diretas para o entendimento das interações planta-solo nestes ambientes, promovendo dados de conservação, manejo e revegetação.

Agradecimentos

Este artigo é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor e foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001 - e pelo Programa de Apoio a Pesquisa (PAP) do Museu Paraense Emílio Goeldi – Belém, Pará.

Referências

- Abrão, S.M., Rosa, S.F., Reinert, D.J., Reichert, J.M., Secco, D., Ebling, A.A. (2015). Alterações químicas de um Cambissolo Húmico causadas por florestamento com *Pinus taeda* em área de campo natural. *Floresta* 45:455–464.
- Ackerly, D.D. *et al.* (2000). The Evolution of Plant Ecophysiological Traits: Recent Advances and Future Directions. *BioScience*, Washington, v. 50, n. 11, p. 979-995,
- Adeney, J. M., Christensen, N. L., Vicentini, A., Cohn-Haft, M. (2016). White-sand Ecosystems in Amazonia. *Biotropica*, 48, 7–23.
- Alberto, F.J., Aitken, S.N., Alia, R., *et al.* (2013). Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations. *Global Change Biology* 19: 1645–1661.
- Aleixo, I., Norris, D., Hemerik, L., *et al.* (2019). Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. *Nature Climate Change*. 9, 384–388 doi:10.1038/s41558-019-0458-0
- Almeida, C. A., Coutinho, A. C., Esquerdo, J. C. D. M., Adami, M., Venturieri, A., Diniz, C. G., Dessay, N., Durieux, L., Gomes, A. R. (2016). High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. In: *Acta Amazonica* 46, 291-302.
- Alonso, C., Ramos-Cruz, D., Becker, C. (2018). The role of plant epigenetics in biotic interactions. *New Phytologist*. doi:10.1111/nph.15408
- Amaral, D. D., Prost, M. T., Bastos, M. N. C., Neto, S. V. C., Santos, J. U. M. (2008). Restingas do litoral amazônico, estados do Pará e Amapá, Brasil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi*, 3, 35-67.
- Amaral, D. D., Rocha, A. E., Pereira, J. L. G, Costa-Neto, S. V. (2019). Identificação dos subtipos de savanas na Amazônia oriental (Pará e Amapá, Brasil) com uma chave dicotômica de individualização. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, v. 14, n. 2, p. 159-181.
- Anderegg, W.R.L., Meinzer, F.C. (2015). Wood anatomy and plant hydraulics in a changing climate. In: Hacke U, editor. *Functional and ecological xylem anatomy. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* Cham: Springer International Publishing; p. 235-53. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-15783-2_9.

Anderson, M.J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol* 26:32–46

Apgaua, D.M.G., Tng, D.Y.P., Cernusak, L.A., Cheesman, A.W., Santos, R.M., Edwards, W.J. et al. (2017). Plant functional groups within a tropical forest exhibit different wood functional anatomy. *Functional Ecology*; 31(3): 582-591. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.12787>.

Araujo, D.S.D. (1987). Restingas: síntese dos conhecimentos para a costa sul e sudeste brasileira. In: *Anais do 54º Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira*, São Paulo, pp. 333-337.

Araujo, D. S. D.; Pereira, M.C.A.; Pimentel, M. (2004). Flora e estrutura de comunidades na Restinga de Jurubatiba - Síntese dos conhecimentos com enfoque especial para a Formação Aberta de *Clusia*. Pp. 59-76. In: C.F.D. Rocha.

Araujo, D.S.D., Henriques, R.P.B. (1984). Análise florística das restingas do Rio de Janeiro. In: *Restingas: origem, estruturas e processos* (L.D.L. Lacerda, D.S.D. Araujo, R. Cerqueira & B. Turcq, eds.). CEUFF, Niterói, p.159-193.

Araujo, L. L. N; Melo, H. C; Castiglioni, G. L, Gonçalves, L. A. (2019). Intensidade de radiação influenciando características morfofisiológicas em folhas de *Tetradenia riparia* (Hochst.) Codd. *Iheringia, Série Botânica*, 74: e2019001 DOI: 10.21826/2446-82312019v74e2019001

Arnold, P. A., Kruuk, L. E. B., Nicotra, A. B. (2019). How to analyse plant phenotypic plasticity in response to a changing climate. *New Phytologist*. doi:10.1111/nph.15656

Baas, P., Wheeler, E.A. (2011). Wood anatomy and climate change. In: Hodkinson T, Jones M, Waldren S, Parnell J, editors. *Climate change, ecology and systematics*. Cambridge: Cambridge University Press; p. 141-55. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511974540.007>.

Baas, P, Ewers, F. W., Davis, S. D., Wheeler, E. A. (2004). Evolution of xylem physiology. In: HEMSLEY, A. R.; POOLE, I. *The evolution of plant physiology*. Londres: Elsevier Academic Press, p. 273-295.

Bartlett, M.K., Klein, T., Jansen, S., Choat, B., Sack, L. (2016). The correlations and sequence of plant stomatal, hydraulic, and wilting responses to drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 113: 13098–13103.

Barnett, A.J.; Finlay, K.; Beisner, B.E. (2007). Functional diversity of crustacean zooplankton communities: towards a trait-based classification. *Freshwater Biology* 52 (5): 796–813.

Bastos, M.N.C., Lobato, L.C.B. (1996). Estudos fitossociológicos em áreas de bosque de mangue na praia do Crispim e ilha de Algodal, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra*, Belém, v. 8, p. 157-167.

- Beard J.S. (1953). The Savannah Vegetation of Northern Tropical America. *Ecol. Monog.* 23: 149–215.
- Beeckman, H. (2016). Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal.* 37, 127–151. Doi:10.1163/22941932-20160127
- Berlin, S., Hallingbäck, H. R., Beyer, F., Nordh, N. E., Weih, M., & Rönnerberg-Wästljung, A. C. (2017). Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years. *Annals of botany*, 120(1), 87–100. doi:10.1093/aob/mcx029
- Bhaskar, R., Ackerly, D. (2006). Ecological relevance of minimum seasonal water potential. *Physiologia Plantarum*, 127: 353–359.
- Boeger, M. R. T., Alves, L. C.; Negrelle, R. R. B. (2004). Leaf morphology of 89 tree species from a lowland tropical rain forest (Atlantic Forest) in south Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 47, n. 6, p. 933-943,
- Boeger, M.R.T., Gluzezak, R.M. (2006). Adaptações estruturais de sete espécies de plantas para as condições ambientais da área de dunas de Santa Catarina, Brasil. *Iheringia*;61(1- 2):73-82.
- Bradshaw, A. D. (2006). Unravelling phenotypic plasticity – why should we bother? *New Phytol.*;170(4):644-648. Doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01761.
- Braga, P.I.S. (1979). Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico na Amazônia. *Acta Amazonica* 9:53-80.
- Bridgewater, S., Ratter, J.A., Ribeiro, J.F. (2004). Biogeographic patterns, diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 13: 2295-2318.
- Brodribb, T. J., Holbrook, N. M. (2005). Water stress deforms tracheids peripheral to the leaf vein of a tropical conifer. *Plant Physiology*, v. 137, p. 1.139-1.146,
- Brum, M., Teodoro, G. S., Abrahão, A., Oliveira, R. S. (2017). Coordination of rooting depth and leaf hydraulic traits defines drought-related strategies in the campos rupestres, a tropical montane biodiversity hotspot. *Plant and Soil*, 420(1-2), 467–480. doi:10.1007/s11104-017-3330-x
- Brunbjerg, A.K., Ejrnaes, R., Svenning, J. (2012). Species sorting dominates plant metacommunity structure in coastal dunes. *Acta Oecologica*, 39, 33–42.
- Bucci, J.S., Scholz, F.G., Goldstein, G., Meinzer, F.C., Franco, A.C., Campanello, P.I., Villalobos-Vega, R., Bustamante, M. Miralles-Wilhelm, F. (2006). Nutrient availability constrains the hydraulic architecture and water relations of savannah trees. *Plant, Cell and Environment* 29: 2153-2167.
- Bucci, J.S., Goldstein, G., Meinzer, F. C., Scholz, F. G., Franco, A. C., Bustamante, M. (2004). Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: From leaf to whole plant. *Tree Physiology* 24: 891–899.

- Cao KF. (2000). Leaf anatomy and chlorophyll content of 12 woody species in contrasting conditions in a Bornean heath Forest. *Can J Botany* 78:1245-1253.
- Carlquist, S. (1977). Ecological factors in wood evolutions: a floristic approach. *American Botany*, v. 64, n. 7, p. 887-896,
- Carlucci, M. B., Luza, A. L., Hartz, S. M., Duarte, L. D. S. (2016). Forests, shrublands and grasslands in southern Brazil are neglected and have specific needs for their conservation. Reply to Overbeck et al. *Nat. e Conserv.* 14, 155–157,
- Carvalho, T.M., Carvalho, C.M. (2012). Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studie. *Quaternary Science Journal*, v. 61, p. 146-155.
- Carneiro, F. S.; Ruschel, A. R.; Freitas, L. J. M.; Pinheiro, K. A. O.; D'arace, L. M. B.; Maestri, M. P. (2019). Resiliência do volume de madeira de espécies comerciais em diferentes áreas experimentais na Amazônia Oriental. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.6, p.15-31, DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0003>
- Carvalho, W. D., Mustin, K. (2017). The highly threatened and little known Amazonian savannahs. *Nature Ecology & Evolution* 1: 100. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0100>.
- Castro, E. M., Pereira, F. J., Paiva, R. (2009). *Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 234 p.
- Cerabolini, B.E.L., Brusa, G., Ceriani, R.M., De Andreis, R., Luzzaro, A., Pierce, S. (2010). Can CSR classification be generally applied outside Britain? *Plant Ecology*, 210, 253–261.
- Chavana-Bryant, C., Malhi, Y., Anastasiou, A., Enquist, B. J., Cosio, E. G., Keenan, T. F., Gerard, F. F. (2019). Leaf age effects on the spectral predictability of leaf traits in Amazonian canopy trees. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.01.379
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G., Zanne, A.E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12, 351– 366.
- Chevin, L-M, Hoffmann, A.A. 2017. Evolution of phenotypic plasticity in extreme environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 372: 20160138.
- Choat, B., Cobb, A. R., Jansen, S. (2008). Structure and function of bordered pits: New discoveries and impacts on whole-plant hydraulic function. *New Phytologist* 177: 608–626.
- Coelho, V. A. T. *et al.* (2020). Macronutrient deficiencies in Italian Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.): symptoms and growth characterization. *Research, Society and Development*, Itabira, v. 9, n. 3, p. e08932269, doi:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2269>.

Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Ter Steege, H., Morgan, H.D., Van, D. E. R., Heijden, M. G. A., Pausas, J. G., Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, 335–380.

Cornwell, W.K., Ackerly, D. (2009). Community assembly and shifts in the distribution of functional trait values across an environmental gradient in coastal California. *Ecological Monographs*, v. 79, p. 109–126.

Costa, A. M., *et al.* (2019). Nitrogen and Potassium Fertilization in the Initial Growth of *Annona crassiflora* Mart. *Floresta Ambient.*, Seropédica, v. 26, n. 2, e20170341.

Costa, F. M., Terra-Araujo, M. H., Zartman, C.E. *et al.* (2020). Islands in a green ocean: Spatially structured endemism in Amazonian white-sand vegetation. *Biotropica*; 52: 34–45. <https://doi.org/10.1111/btp.12732>

Brodersen, C.R., Roddy, A.B., Wason, J.W., McElrone, A.J. (2019). Functional Status of Xylem Through Time. *Annual Review of Plant Biology* 70:1, 407-433 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100455>

Crespo-Mendes, N., Laurent, A., Bruun, H. H., Hauschild, M. Z. (2019). Relationships between plant species richness and soil pH at the level of biome and ecoregion in Brazil. *Ecological Indicators*, 98, 266–275. doi:10.1016/j.ecolind.2018.11.004

Damasco, G., Vicentini, A., Castilho, C. V., Pimentel, T. P., Nascimento, H. E. M. (2013). Disentangling the role of edaphic variability, flooding regime and topography of Amazonian white-sand vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 24, 384–394.

Das, D., Nayak, A.K., Thilagam, V.K., Chatterjee, D., Shahid, M., Tripathi, R., Mohanty, S., Kumar, A., Lal, B., Gautam, P., Panda, B.B., Biswas, S.S. (2018). Measuring potassium fractions is not sufficient to assess the long-term impact of fertilization and manuring on soil's potassi- um supplying capacity. *J Soils Sediments* 18:1806–1820

De Vargas, J. P. R., dos Santos, D. R., Bastos, M. C., Schaefer, G., Parisi, P. B. (2019). Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. *Soil and Tillage Research*, 185, 47–60. doi:10.1016/j.still.2018.08.014

Díaz, S.; Hodgson, J.G.; Thompson, K.; Cabido, M. *et al.* (2004). The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science*, Knivsta, v. 15, n. 3, p. 295.

Donovan, L. A., Maherali, H., Caruso, C. M., Hubber, H., Kroon, H. (2006). The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 26, p. 88-95, 2011. *Ecology and Evolution*, v. 21, p. 261–268.

Eiten, G. (1977). Delimitação do conceito de Cerrado. *Arquivo do Jardim Botânico do Rio de Janeiro* 21: 125-134.

Eiten, G. (1978). Delimitations of the Cerrado concept. *Vegetation* 36(3): 169-178. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02342599>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 353 p.

Esquivel-Muelbert, A., Baker, T.R., Dexter, K.G., Lewis, S.L., et al. (2017). Seasonal drought limits tree species across the Neotropics. *Ecography* 40:618–629. <https://doi.org/10.1111/ecog.01904>

Fabiańska, I., Gerlach, N., Almario, J., Bucher, M. (2019). Plant-mediated effects of soil phosphorus on the root-associated fungal microbiota in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytol*, 221: 2123-2137. doi:10.1111/nph.15538

Fagundes, N. C. A. et al. (2019). Riparian vegetation structure and soil variables in Pandeiros river, Brazil. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro, v. 70, e01822017, <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201970002>.

Faustino, L.I., Bulfe, N.M.L., Pinazo, M.A., Monteoliva, S.E., Graciano, C. (2013). Dry weight partitioning and hydraulic traits in young *Pinus taeda* trees fertilized with nitrogen and phosphorus in a subtropical area. *Tree Physiology* 33: 241-251.

Fearnside, P. M., Barbosa, R. I., Pereira, V. B. (2013). Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. *Revista Agro@mbiente* 7, 95-111.

Fichtler, E., Worbes, M. (2012). Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA Journal* 33: 119-140.

Figueroa, S. N., Nobre, C. A. (1990). Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise* 5(6): 36-45.

Fujishima, M. A. T., Sá, D. M. C., Lima, C. M. de S., Bittencourt, J. A. H. M., Pereira, W. L. A., Muribeca, A. de J. B., ... da Silva, J. O. (2020). *Chemical profiling of Curatella americana* Linn leaves by UPLC-HRMS and its wound healing activity in mice. *PLOS ONE*, 15(1), e0225514. doi:10.1371/journal.pone.0225514

Furley, P.A., Ratter, J.A. (1988). Soil resources and plant communities of central Brazilian cerrado and their development. *Journal of Biogeography*, 15: 97-108.

Furtado, A. M. M *et al.* (2006). Distribuição espacial das manchas de savana parque no município de Salvaterra, Ilha de Marajó, Pará. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia,

Ferraz, G.A.S., Ferraz, P.F.P., Martins, F.B., Silva, F.M., Damasceno, F.A., Barbari, M. (2019). Principal components in the study of soil and plant properties in precision coffee farming. *Agronomy Research* 17(2), 418–429, doi.org/10.15159/AR.19.114

Gatiboni, L. C., Da Silva, W. C., Mumbach, G. L., Schmitt, D. E., Iochims, D. A., Stahl, J., Vargas, C. O. (2019). Use of exchangeable and nonexchangeable forms of calcium, magnesium, and potassium in soils without fertilization after successive cultivations with

Pinus taeda in southern Brazil. Journal of Soils and Sediments. doi:10.1007/s11368-019-02460-x

Gerlach, D. (1984). Botanische Mikrotechnik: eine Einführung. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Givnish, T.J. (2002). Ecological constraints on the evolution of plasticity in plants. *Evol Ecol.*;16(3):213-242. Doi:10.1023/A:1019676410041

Goldstein, G., Bucci, S.J., Scholz, F.G. (2013). Why do trees adjust water relations and hydraulic architecture in response to nutrient availability? *Tree Physiology* 33: 238-240.

Gratani, L.; Covone, F.; Larcher, W. (2006). Leaf plasticity in response to light of three evergreen species of the mediterranean maquis. *Trees*, v. 20, p. 549-558.

Grime, J.P. (1977). Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, 111. 169-194.

Grime, J.P. (2001). *Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties*, 2nd edn. Wiley, Chichester, pp. 417.

Guedes, D., Barbosa, L.M., Martins, S.E. (2006). Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de Restinga no Município de Bertioga, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 20: 299-311.

Gomes, J.B., Resende, M., Rezende, S.B., Mendonça, E.S. (1998). Solos de três áreas de restinga. I. Morfologia, caracterização e classificação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1907-1919.

Guido, A., Salengue, E., Dresseno, A. (2017). Effect of shrub encroachment on vegetation communities in Brazilian forest-grassland mosaics. *Perspect. Ecol. Conserv.* 15, 52–55

Grime, J.P. (1977). Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, Chicago, v. 111, n. 982, p. 1169-1194.

Schenk, H. J., Michaud, J. M., Espino, S., Melendres, T., Roth, M. R., Welti, R., Kaack, L., Jansen, S. (2019). Lipids in xylem sap of woody plants across the angiosperm phylogeny. bioRxiv 763771; doi: <https://doi.org/10.1101/763771>

Hacke, U.G., Sperry, J.S. (2001). Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 4: 97–115.

Hacke, U. G., Sperry, J. S., Wheeler, J. K., Castro, L. (2006). Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. *Tree Physiology* 26: 689–701.

Han, T., Cai, A., Liu, K. et al. (2019). The links between potassium availability and soil exchangeable calcium, magnesium, and aluminum are mediated by lime in acidic soil. *J Soils Sediments*. 19: 1382. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2145-6>

- Haridasan, M. (2000). Nutrição mineral das plantas nativas do Cerrado. *Braz. J. Plant Physiol.* 12:54-64.
- Hayes, P.E., Guilherme, P.C., Clode, P.L. Lambers, H. (2019). Calcium-enhanced phosphorus toxicity in calcifuge and soil-indifferent Proteaceae along the Jurien Bay chronosequence. *New Phytol*, 221: 764-777. doi:10.1111/nph.15447
- He, M., Zhang, K., Tan, H., Hu, R., Su, J., Wang, J., Huang, L., Zhang, Y., Li, X. (2015). Nutrient levels within leaves, stems, and roots of the xeric species *Reaumuria soongorica* in relation to geographical, climatic, and soil conditions. *Ecology & Evolution* 5: 1494-1503.
- Hodgson, J.G., et al. (2011). Is leaf dry matter content a better predictor of soil fertility than specific leaf area? *Ann Bot* 108:1337-1345.
- Hoosbeek, M.R, Ibarra-Manríquez, G., Junqueira, A.B., Levis, C., *et al.* (2015). Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Glob Ecol Biogeogr* 24:1314–1328. <https://doi.org/10.1111/geb.12364>
- Huber O. (1982). Significance of savannah vegetation in the Amazon Territory of Venezuela. In: Prance G.T. (ed.), *Biological Diversification in the Tropics*. Columbia University Press, New York, pp. 221–244.
- Instituto Nacional de Meteorologia, INMET. (1992). Normas climatológicas (1961-1990). Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística, IBGE. (2012). Manual técnico da vegetação brasileira: 1-271. IBGE (Manuais Técnicos em Geociências, n. 1), Rio de Janeiro.
- Jacobsen, A. L., Ewers, F. W., Pratt, R. B., Paddock, W. A., Davis S. D. (2005). Do xylem fibers affect vessel cavitation resistance? *Plant Physiology* 139:546 – 556.
- Jacobsen, A. L., Agenbag, L., Esler, K. J., Pratt, R. B., Ewers, F. W., Davis, S. D. (2007). Xylem density, biomechanics and anatomical traits correlate with water stress in 17 evergreen shrub species of the Mediterranean type climate region of South Africa. *Journal of Ecology* 95: 171–183.
- Kedrov, G. B. (2012). Functioning wood. *Wulfenia*, v. 19, p. 57-95.
- Kessler, M., Kluge, J., Hemp, A., Ohlemüller, R. (2011). A global comparative analysis of elevational species richness patterns of ferns. *Glob Ecol Biogeogr* 20:868–880. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00653.x>
- Köppen, W. (1948). *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica. México. 479p.
- Kostiainen, K., Kaakinen, S., Saranpää, P., Sigurdsson, B.D., Linder, S., Vapaavuori E. (2004). Effect of elevated [CO₂] on stem wood properties of mature Norway spruce grown at different soil nutrient availability. *Global Change Biology* 10: 1526-1538.

- Kubitzki, K. (2004). Dilleniaceae. In: Smith, N. *Flowering plants of neotropics*. Princeton, New Jersey. Princeton University Press, p. 128-130.
- Lavorel, S.; Díaz, S.; Cornelissen, J.H.C.; Garnier, E.; Harrison, S.P.; McIntyre, S.; Pausas, J.G.; Pérez-Harguindeguy, N.; Roumet, C.; Urcelay, C. *Plant Functional Types: Are we getting any closer to the Holy Grail?* In: Canadell, J. G.; Pataki, D.; Pitelka, L. (Eds.). *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 16 p.
- Lambers, H., Brundrett, M.C., Raven, J.A., Hopper, S.D. (2010). Plant mineral nutrition in ancient landscapes: high plant species diversity on infertile soils is linked to functional diversity for nutritional strategies. *Plant and Soil* 334:11–31.
- Lambers, H., Hayes, P.E., Laliberté, E., Oliveira, R.S., Turner, B.L. (2014). Leaf manganese accumulation and phosphorus-acquisition efficiency. *Trends in Plant Science*. doi: 10.1016/j.tplants.2014.10.007
- Lane, C., Wright, S.J., Roncal, J., Maschinski, J. (2008). Characterizing environmental gradients and their influence on vegetation zonation in a subtropical coastal sand dune system. *Journal of Coastal Research*, 24, 213–224.
- Li, J., Niu, L., Zhang, Q., Di, H., Hao, J. (2017). Impacts of long-term lack of potassium fertilization on different forms of soil potassium and crop yields on the North China Plains. *J Soils Sediments* 17:1607–1617
- Li, N., Arshad, M., Zhao, D., Sefton, M., Triantafyllis, J. (2019). Determining optimal digital soil mapping components for exchangeable calcium and magnesium across a sugarcane field. *CATENA*, 181, 104054. doi:10.1016/j.catena.2019.04.034
- Lorenzi, H. (1998). *Árvores brasileiras - Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2. ed. v.1. Nova Odessa: Plantarum. 352 p.
- Lortie, C.J., Cushman, J.H. (2007). Effects of a directional abiotic gradient on plant community dynamics and invasion in a coastal dune system. *J. Ecol.* 95, 468–481.
- Louw-Gaume, A.E., Rao, I.M., Gaume, A.J., Frossard, D. (2010). A comparative study on plant growth and root plasticity responses of two *Brachiaria* forage grasses grown in nutrient solution at low and high phosphorus supply. *Plant Soil*.;328(1):155-164. Doi:10.1007/s11104-009-0093-z
- Lü, X. T., Freschet, G. T., Flynn, D. F. B, Han, X. G. (2012). Plasticity in leaf and stem nutrient resorption proficiency potentially reinforces plant–soil feedbacks and microscale heterogeneity in a semi-arid grassland. *J Ecol.*;100(1):144-150. Doi: 10.1111/j.1365-2745.2011.01881.x
- Lüttge U. (2019). Functional Diversity of Photosynthesis, Plant-Species Diversity, and Habitat Diversity. In: *Progress in Botany*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Luza, A. L., Carlucci, M. B., Hartz, S. M., Duarte, L. D. S. (2014). Moving from forest vs. grassland perspectives to an integrated view towards the conservation of forest–grassland mosaics. *Nat. Conserv.* 12, 166–169

Machado, R.B., Ramosneto, M.B., Pereira, P.G.P., Caldas, E.F., Gonçalves, D.A., Santos, N.S., Tabor, K., Steininger, M. (2004). Estimativas de perda da área do Cerrado Brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, 25p.

Magnusson, W. E., Sanaiotti, T. M., Lima, A. P., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Araújo M. C., Albernaz, A. L. (2002). A comparison of $\delta^{13}\text{C}$ ratios of surface soils in savannas and forests in Amazonia. *Journal of Biogeography* 29:857-863.

Magnusson, W.E., Lima, A.P., Albernaz, A.L.K.M., Sanaiotti, T.M., Guillaumet, J.L. (2008). Composição florística e cobertura vegetal das savanas na região de Alter do Chão, Santarém - PA. *Brazilian Journal of Botany*, 31(1), 165-177. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042008000100015>

Mavi, M. S., J. Sanderman, D. J. Chittleborough, J. W. Cox, and P. Marschner. (2012). Sorption of dissolved organic matter in salt-affected soil: Effect of salinity, sodicity and texture. *The Science of the Total Environment*, 435–436:337–44. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.07.009.

Martínez-Vilalta, J., Mencuccini, M., Alvarez, X., Camacho, J., Loepfe, L., and Piñol, J. (2012). Spatial distribution and packing of xylem conduits. *Am. J. Bot.* 99, 1–8.

Mardegan, S.F., Nardoto, G.B., Higuchi, N. *et al.* (2009). Nitrogen availability patterns in white-sand vegetations of Central Brazilian Amazon. *Trees* 23, 479–488, <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0293-9>

Meinzer, F. C., James, S. A., Goldstein, G., Woodruff, D. (2003). Whole-tree water transport scales with sapwood capacitance in tropical forest canopy trees. *Plant, Cell & Environment* 26: 1147–1155.

Melo Jr, J. C. F., Boeger, M. R. T. (2016). Leaf traits and plastic potential of plant species in a light-edaphic gradient from a Restinga in southern Brazil. *Acta biol. Colomb.*;21(1):51-62. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v21n1.47621>.

Melo Júnior, J.C.F. (2015). Plasticidade fenotípica e diversidade funcional de comunidades florísticas em gradiente edáfico na restinga do Parque Estadual do Acaraí, São Francisco do Sul/SC. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Melo Júnior, J. C.F., Boeger, M. R. T. (2017). “Functional traits of dominant plant species of the brazilian sandy coastal plain”, *International Journal of Current Research*, 9, (01), 45585-45593.

Middleton, B. A. (2020). Trends of litter decomposition and soil organic matter stocks across forested swamp environments of the southeastern US. *PLoS ONE* 15(1): e0226998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226998>

Miranda I. S. (1993). Estrutura do estrato arbóreo do cerrado amazônico em Alter-do-Chão, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 16: 143–150.

Miranda, I.S., Absy, M.L. (2000). Fisionomias das Savanas de Roraima, Brasil. *Acta Amazonica* 30: 423-440.

- Miranda, I.S., Absy, M.L., Rebelo, G.H. (2003). Community Structure of Woody Plants of Roraima Savannas, Brazil. *Plant Ecology* 164: 109–123.
- Molina, F. V. (2014). *Soil Colloids properties and ion binding*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Moraes, B. C., Costa, J. M. N., Costa, A. C. L., Costa, M.H. (2005). Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazonica* 35: 207-214.
- Morris, E. C., Gibson-Roy, P. (2019). Short Research Report: high level of soil carbon addition causes possible manganese and aluminium phytotoxicity. *Ecol Manag Restor*, 20: 166-170. doi:10.1111/emr.12356
- Kloster, N., Perez, M., Mazzaferro, F. (2019). A Rapid and Simple Manifold to Study Exchangeable Cations and Cation Exchange Capacity in 24 Soil Samples Simultaneously, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50:12, 1500-1511, DOI: 10.1080/00103624.2019.1631329
- Nalley, J.O., Stockenreiter, M., Litchman, E. (2014). Community ecology of algal biofuels: complementarity and trait-based approaches. *Industrial Biotechnology* 10 (3): 191–201.
- Nimer, E. (1989). *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 421 p.
- Niklas, K. J., Christianson, M. L. (2011). Differences in the scaling of area and mass of *Ginkgo biloba* (Ginkgoaceae) leaves and their relevance to the study of specific leaf area. *Amer J Bot* 98:1381-1386.
- Nikolov, L. A., Runions, A., Das Gupta, M., Tsiantis, M. (2018). Leaf development and evolution. *Current Topics in Developmental Biology*. doi:10.1016/bs.ctdb.2018.11.006
- Nock, C. A, Vogt, R. J., Beisner, B. E. (2016). *Functional Traits*. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester.
- Nogueira, F. C., Pagotto, M. A., Aragão, J. R. V., et al. (2019). O desempenho hidrológico do crescimento de *Prosopis juliflora* (Sw.) como espécie invasora de árvores exóticas nos trópicos semiáridos do nordeste do Brasil. *Invasões Biol* 21, 2561–2575. doi: 10.1007 / s10530-019-01994-y
- Norberg, J. (2004). Biodiversity and ecosystem functioning: a complex adaptive systems approach. *Limnology and Oceanography* 49 (4, Part 2): 1269–1277.
- Oliveira, J. C. F., Pereira-Ribeiro, J., Favalessa, A., Rocha, C. F. D. (2020). Frog communities from five remnants of sandy coastal plains in Espírito Santo state, southeastern Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 24(1). doi:10.1007/s11852-019-00720-z
- Oliveira, R.S., Galvão, H.C., de Campos, M.C.R., Eller, C.B., Pearse, S.J., Lambers, H. (2015). Mineral nutrition of campos rupestres plant species on contrasting nutrient-impooverished soil types. *New Phytol*, 205: 1183-1194. doi:10.1111/nph.13175

Oostra, V., Saastamoinen, M., Zwaan, B. J., Wheat, C. W. (2018). Strong phenotypic plasticity limits potential for evolutionary responses to climate change. *Nature Communications*, 9, [1005]. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03384-9>

Osunkoya, O. O., Sheng, T. K., Mahmud, N., Damit, N. (2007). Variation in wood density, wood water content, stem growth and mortality among twenty-seven tree species in a tropical rainforest on Borneo Island. *Austral Ecology* 32: 191–201.

Pachêco, N. A., Bastos, T. X. *Boletim Agrometeorológico 2004 Igarapé-Açu, PA.* (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 216). Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 28 p.

Peppe, D. J. et al. (2011). Sensitivity of leaf size and shape to climate: global patterns and paleoclimatic applications. *New Phytologist*, v. 190, p. 724-739.

Pérez-Harguindeguy, N.; Díaz. S.; Garnier, E.; Lavorel, S. et al. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, v. 61, p. 167-234.

Phillips, O. L., Sullivan, M. J. P., Baker, T. R., Monteagudo Mendoza, A., Vargas, P. N., Vásquez, R. (2019). Species Matter: Wood Density Influences Tropical Forest Biomass at Multiple Scales. *Surveys in Geophysics*. doi:10.1007/s10712-019-09540-0

Pierce, S. et al. (2017). A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. *Functional Ecology*, 31. 444–457.

Pineda-García, F., Paz, H., Meinzer, F. C., Angeles, G. (2015). Exploiting water versus tolerating drought: water-use strategies of trees in a secondary successional tropical dry forest. *Tree Physiology*; 36(2): 208-217. PMID:26687176.

Pitterman, J. (2010). The evolution of water transport in plants: an integrated approach. *Geobiology*, v. 8, p. 112-139.

Pivovarovoff, A. L., Pasquini, S. C., De Guzman, M. E., Alstad, K. P., Stemke, J. S., Santiago, L. S. (2015). Multiple strategies for drought survival among woody plant species. *Funct Ecol*. doi:10.1111/1365-2435.12518

Poorter, L. (2008). The relationships of wood-, gas-, [sic] and water fractions of tree stems to performance and life history variation in tropical trees. *Annals of Botany* 102: 367–375.

Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I.J., Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, Cambridge, v. 182, p. 565-588.

Portela, E., Monteiro, F., Fonseca, M., Abreu, M. M. (2019). Effect of soil mineralogy on potassium fixation in soils developed on different parent material. *Geoderma* 343:226–234

Pratt, R. B., Jacobsen, A. L. (2016). Conflicting demands on angiosperm xylem: tradeoffs among storage, transport, and biomechanics. *Plant, Cell & Environment* 40: 897–913.

- Pratt, R. B., Jacobsen, A. L., Ewers, F. W., Davis, S. D. (2007). Relationships among xylem transport, biomechanics and storage in stems and roots of nine Rhamnaceae species of the California chaparral. *New Phytologist* 174: 787–798.
- Quesada, C. A., Lloyd, J., Anderson, L. O., Fyllas, N. M., Schwarz, M., Czimczik, C. I. (2011). Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences* 8:1415–1440. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>
- Quesada, M.; Sanches-Azofeifa, A.; Anorve, M. A.; Stoner, K. A. et al. (2009). Sucession and management of tropical dry forests in the Americas: review and new perspectives. *Forest Ecology and Management*, v. 258, p. 1.014-1.024.
- R Core Team. (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing. URL. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Radambrasil. (1974). Projeto Radam. Levantamento de recursos naturais. Ministério de Minas e Energia-DNPN, Rio de Janeiro.
- Ratter J.A., Bridgewater, S. & Ribeiro, J.F. 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: Comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60: 57–109.
- Ratter, J.A., Bridgewater, S., Atkinson, R., Ribeiro, J.F. (1996). Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 53: 153-180.
- Rasband, W.S. (2007). *ImageJ*. Versão 1.42q. National Institute of Health, USA.
- Reich, P. B., Wright, I. J., Cavender-Bares, J., Craine, J. M., Oleksyn, J., Westoby, M., Walters, M. B. (2003). The Evolution of Plant Functional Variation: Traits, Spectra, and Strategies. *International Journal of Plant Sciences*, 164(S3), S143–S164. doi:10.1086/374368
- Resende-Moreira, L.C., Knowles, L.L., Thomaz, A.T., et al. (2019). Evolving in isolation: Genetic tests reject recent connections of Amazonian savannas with the central Cerrado. *J Biogeogr*; 46: 196– 211. <https://doi.org/10.1111/jbi.13468>
- Ribeiro, J. F., Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (eds). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrado/Embrapa Informação Tecnológica, 2ª ed, p.151-212.
- Rizzini, C.T. (1992). *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural.
- Robinson, T. M. P., La Pierre, K. J., Vadeboncoeur, M. A., Byrne, K. M., Thomey, M. L., Colby, S. E. (2013). Seasonal, not annual precipitation drives community productivity across ecosystems. *Oikos* 122: 727–738.

- Rocha, A. E. S. D., Costa Neto, S. V. D. (2019). Florística e fitossociologia do estrato herbáceo/arbustivo em 19 áreas de savanas amazônicas, Brasil. 2019. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., Belém, v. 14, n. 2, p. 159-181.
- Rocha, A. E. S. D., Miranda, I. D. S., Costa Neto, S. V. D. (2014). Composição florística e chave de identificação das Poaceae ocorrentes nas savanas costeiras amazônicas, Brasil. Acta Amazonica 44(3): 301-314. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201305173>.
- Roderick, M. L. (2000). On the measurement of growth with applications to the modelling and analysis of plant growth. Functional Ecology 14: 244–251.
- Gondwe, R. L., Kinoshita, R., Suminoe, T., Aiuchi, D., Palta, J., Tani, M. (2019) Soil and tuber calcium affecting tuber quality of processing potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars grown in Hokkaido, Japan, Soil Science and Plant Nutrition, 65:2, 159-165, DOI: 10.1080/00380768.2019.1579044
- Rodrigues, A.N.A., et al. (2019). Forms and buffering potential of aluminum in tropical and subtropical acid soils cultivated with *Pinus taeda* L. J Soils Sediments 19: 1355. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2144-7>.
- Rodrigues, C.R.F., Silveira, J.A.G., Silva, E.N., Dutra, A.T.B., Viégas, R.A. (2012). Transporte e distribuição de potássio atenuam os efeitos tóxicos do sódio em plantas jovens de pinhão-mansão. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36: 223-232.
- Roeser, K.R. (1972). Die Nadel der Schwarzkiefer - Massenprodukt und Kunstwerk der Natur. Mikrokosmos, 61: 33-36.
- Romão, E. P., Pontes, A. N., Gutjahr, A. L. N., Torres, W. R. G. (2017). Análise temporal do uso e da cobertura do solo nas áreas desflorestadas do município de Altamira, Pará. Enciclopédia Biosfera 14, 113-126. doi: 10.18677/EnciBio_2017A11.
- Ronquim, C. S. (2010). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, nº8. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite.
- Rosado, B. H. P., Dias, A. T. C., De Mattos, E. A. (2013). Going back to basics: importance of ecophysiology when choosing functional traits for studying communities and ecosystems. Nat Conservação 11:15-22.
- Rosado, B.H.P., De Mattos, E.A. (2010). Interspecific variation of functional traits in a CAM-tree dominated sandy coastal plain. Journal of Vegetation Science, Knivsta, v. 21, p. 43-54.
- Rossetti, D.F., Almeida, S., Amaral, D.D., Lima, C.M., Pessenda, L.C.R. (2010). Coexistence of forest and savanna in an Amazonian area from a geological perspective. Journal of Vegetation Science 21: 120–132.
- Royer, D. L., Kooyman, R. M., Little, S. A., Wilf, P. (2009). Ecology of leaf teeth: a multi-site analysis from an Australian subtropical rainforest. American Journal of Botany, v. 96, n. 4, p. 738-750.

- Ruggiero, P.G.C., Batalha, M.A., Pivello, V.R., Meirelles, S.T. (2002). Vegetation-soil relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology* 160: 1-16.
- Ruivo, M.L.P., Amaral, I.G., Faro, M.P.S., Ribeiro, E.L.C., Guedes, A.L.S., Santos, M.M.L.S. (2005). Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma topossequência na ilha de Algodoal/Maiandeuá, PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais* 1: 227-234.
- Saatchi, S.S., Houghton, R.A., Dos Santos Alvalá, R.C., Soares, J.V., Yu, Y. (2007), Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 13: 816-837. doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01323.x
- Salati, E., J. Marques, 1984. Climatology of the Amazon region. In: H. SIOLI (Ed.): *The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*: 127-166. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Salleo, S., Lo Gullo, M. A., Trifilò, P., Nardini, A. (2004). New evidence for a role of vessel-associated cells and phloem in the rapid xylem refilling of cavitated stems of *Laurus nobilis* L. *Plant, Cell and Environment*, v. 27, p. 1.065-1.076.
- Sanaïotti, T. M. 1991. Ecologia de paisagem: savanas amazônicas. In: A. L. VAL, R. FIGLIUOLO & E. FOLDBERG (Ed.): *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia: fatos e perspectivas*: v. 1: 77-81. INPA, Manaus.
- Sanaïotti, T. M., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Trumbore, S. E., Camargo, P. B. (2002). Past vegetation, in Amazon savannas determined using carbon isotopes of soil organic matter. *Biotropica* 34(1): 2-16. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00237.x>.
- Santiago, L. S., G. Goldstein, F. C. Meinzer, J. B. Fisher, K. Machado, D. Woodruff, and T. Jones. (2004). Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees. *Oecologia* 140: 543–550.
- Santos-Filho, F.S., Almeida Jr., E.B., Zickel, C.S. (2013). Do edaphic aspects alter vegetation structures in the Brazilian restinga? *Acta Botanica Brasilica* 27: 613-623.
- Santos, U.M., Bastos, M. N. C. (2014). Flores e frutos das restingas do Estado do Pará. Belém, PA, Universidade Federal Rural da Amazônia, 246p.
- Sih, A., Bolnick, D.I., Luttbeg, B., Orrock, J.L., Peacor, S.D., Pintor, L.M., Preisser, E., Rehage, J.S., Vonesh, J.R. (2010). Predator-prey naivete, antipredator behavior, and the ecology of predator invasions. *Oikos* 119, 610–621.
- Silva, R. M., Mehlig, U., Santos, J. U. M., Menezes, M. P. M. (2010). The coastal restinga vegetation of Pará, Brazilian Amazon: a synthesis. *Revista Brasileira de Botânica* 33(4): 563-573.
- Silva, A. V., Silva Filho, J. F., Wangen, D. R. B., Santos, A. R. P. (2019). Aplicação de doses de corretivo líquido na correção da acidez do solo. *Revista Ibero Americana de*

Ciências Ambientais, v.10, n.3, p.156-164. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0014>

Scarano, F. R. (2002). Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany*, 90: 517-524.

Scarano, F.R., Barros, C.F., Loh, R.K.T., De Mattos, E.A., Wendt, T. (2009). Plant morpho-physiological variation under distinct environmental extremes in restinga vegetation. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro, v. 60, n. 1, p. 221-235.

Scherer, A., Maraschin-Silva, F., Baptista, R. L. M. (2005). Florística e estrutura do componente arbóreo de matas de restinga arenosa no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19:717-726.

Scholz, F. G., Bucci, S. J., Goldstein, G., Meinzer, F. C., Franco, A. C., Miralles-Wilhelm, F. (2007). Biophysical properties and functional significance of stem water storage tissues in Neotropical savanna trees. *Plant, Cell & Environment* 30: 236–248.

Scholz, A., Klepsch, M., Karimi, Z., Jansen, S. (2013). How to quantify conduits in wood? *Front. Plant Sci.* 4, 1–11.

Secchi, F., Zwieniecki, M. A. (2011). Sensing embolism in xylem vessels: the role of sucrose as a trigger for refilling. *Plant, Cell and Environment*, v. 34, p. 514-524.

Senna, C.S.F., Bastos, M.N.C. (2009). Caracterização dos gradientes florísticos. Pp.381-393. In: Jardim, M.A.G. (org.). *Diversidade biológica das áreas de proteção ambiental Ilhas do Combu e Algodual-Maiandeuá, Pará, Brasil*. Belém: MPEG/MCT/CNPq (Coleção Adolpho Ducke).

Severo dos Santos, J. F., Naval, L. P. (2019). Spatial and temporal Dynamics of Water Footprint For Soybean Production In Areas of Recent Agricultural Expansion of The Brazilian Savannah (Cerrado). *Journal of Cleaner Production*, 119482. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119482

Sharma, S., MacKenzie, R. A., Tieng, T., Soben, K., Tulyasuwan, N., Resanond, A., Blate, G., Litton, C. M. (2019). The impacts of degradation, deforestation and restoration on mangrove ecosystem carbon stocks across Cambodia. *Science of The Total Environment*, 135416. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135416

Shipley, B. et al. (2006). Fundamental trade-offs generating the worldwide leaf economics spectrum. *Ecol* 87:535-541.

Soares, L. A. A., Lima, G. S., Brito, M. E. B., Sá, F. V. S. (2012). Cultivo do tomateiro na fase vegetativa sobre diferentes lâminas de irrigação em ambiente protegido. *Agropecuária*.;8(2):38-45. Doi:150.165.111.246/ojs.patos/index.php/ACSA

Soares, M. B., Freddi, O. S., Matos, E. S., Tavanti, R. F. R., Wruck, F. J., Lima, J. P., Marchioro, V., Franchini, J. C. (2019). Integrated production systems: An alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. *CATENA*, v. 11, p. 104279. doi:10.1016/j.catena.2019.104279

Sousa, D. M. G. de; Lobato, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p. il.

Sperry, J. S. (2003). Evolution of water transport and xylem structure. *Inter J Plant Sci* 164:S115-S127.

Sterck, F. J., van Gelder, H. A. Poorter, L. (2006). Mechanical branch constraints contribute to life-history variation across tree species in a Bolivian forest. *Journal of Ecology* 94: 1192–1200.

Stratton, L., Goldstein, G., Meinzer, F. C. (2000). Stem water storage capacity and efficiency of water transport: Their functional significance in a Hawaiian dry forest. *Plant, Cell & Environment* 23: 99–106.

Swenson, N. G., B. J. Enquist. (2007). Ecological and evolution- ary determinants of a key plant functional trait: Wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. *American Journal of Botany* 94: 451–459.

Teegalapalli, K., Pandey, C. K., Osuri, A. M., Ratnam, J., Sankaran, M. (2019). Understanding the variation in wood densities of trees and its implications for carbon assessments. bioRxiv 523480; doi: <https://doi.org/10.1101/523480>

Tuomisto, H., Zuquim, G., Cárdenas, G. (2014). Species richness and diversity along edaphic and climatic gradients in Amazonia. *Ecography* 37:1034–1046. <https://doi.org/10.1111/ecog.00770>

Tyree, M.T. (2003). Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. *Trees* 17: 95-100.

Tyree, M. T., Zimmermann, M. H. (2002). Xylem structure and the ascent of sap. 2. ed. Nova York: Springer-Verlag, 284 p.

Valladares, F., Gianoli, E., Gomez, J. M. (2007). Ecological limits to plant phenotypic plasticity. *New Phytologist*, Cambridge, v. 176, p. 749-763.

van Gelder, H. A., L. Poorter., Sterck, F. J. (2006). Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytologist* 171: 367–378.

Vieira, J. R. A., Lisi, C. S. (2019). Caatinga Tree Wood Anatomy: Perspectives on Use and Conservation. *Floresta Ambient., Seropédica* , v. 26, n. 2, e20170997.

Violle, C., Jiang, L. (2009). Towards a trait-based quantification of species niche. *Journal of plant Ecology*, 2, 87–93,

Walker, A. P., McCormack, M. L., Messier, J., Myers-Smith, I. H., Wullschleger, S. D. (2017). Trait covariance: the functional warp of plant diversity? *New Phytologist*, 216(4), 976–980. doi:10.1111/nph.14853

Westoby, M., Falster, D.S., Moles, A.T., Vesk, P.A., Wright, I.J. (2002). Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v. 33, n. 1, p. 125-159, nov.

Westoby, M., Wright, I.J. (2006). Land-plant ecology on the basis of functional traits. *Trends Ecol Evol* 21:261-268.

Weithoff, G., Rocha, M.R., Gaedke, U. (2015). Comparing seasonal dynamics of functional and taxonomic diversity reveals the driving forces underlying phytoplankton community structure. *Freshwater Biology* 60 (4): 758–767.

Wright, I.J., Westoby, M. (2004). The economics of leaves. *Australian Science*, Victoria, n. August, p. 34-37.

Wright, I.J., Ackerly, D.D., Bongers, F., Harms, K. E., et al. (2007). Relationships Among Ecologically Important Dimensions of Plant Trait Variation in Seven Neotropical Forests. *Annals of Botany*, v. 99, p. 1003-1015.

Yan, H., Liang, C., Li, Z., Liu, Z., Miao, B., He, C. et al. (2015) Impact of Precipitation Patterns on Biomass and Species Richness of Annuals in a Dry Steppe. *PLoS ONE* 10(4): e0125300. doi:10.1371/ journal.pone.0125300

Zanne, A. E. et al. (2010). Angiosperm wood structure: global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. *Am. J. Bot.* 97, 207–215

Zhu, H., Wang, D., Wang, L., Fang, J., Sun, W., Ren, B. (2014). Effects of altered precipitation on insect community composition and structure in a meadow steppe. *Ecol Entomol.*; 39: 453–461. doi: 10.1111/jvec. 12123 PMID: 25424276

Zhu, Y., Ali, A., Dang, A., Wandel, A. P., Bennett, J. M. (2019). Re-examining the flocculating power of sodium, potassium, magnesium and calcium for a broad range of soils. *Geoderma*. doi:10.1016/j.geoderma.2019.05.041

Ziemińska, K., Butler, D. W., Gleason, S. M., Wright, I. J.; Westoby, M. (2013). Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. *AoB Plants*.

Zimmermann, M. H. (1983). Xylem structure and the ascent of sap. Berlin: Springer-Verlag, 146 p.

Zumaya-Mendoza, S., Aguilar-Rodríguez, S., Yáñez-Espinosa, L., & Terrazas, T. (2019). Stem anatomy diversity in Iresine (Amaranthaceae s.l.): an ecological interpretation. *Brazilian Journal of Botany*. doi:10.1007/s40415-019-00530-5

Zuquim, G. et al. (2019). The importance of soils in predicting the future of plant habitat suitability in a tropical forest. *Plant Soil*. doi:10.1007/s11104-018-03915-9

Appendices

Comparação das variáveis do solo entre as tipologias abertas amazônicas

A restinga foi a tipologia que apresentou valores mais elevados de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e na relação Ca + Mg (Fig. 8; Tab. 3). Os demais atributos químicos como o PH, acidez potencial (H+Al), alumínio (AL), capacidade de troca catiônica - CTC Total e Efetiva, bem como a saturação por bases e a saturação dos solos por alumínio não apresentaram diferenças estatísticas significativas (Fig. 8; Tab. 3).

Quanto aos atributos físicos dos solos nas diferentes tipologias, a areia fina foi maior na restinga (Fig. 7; Tab. 4). O silte obteve as maiores médias aproximadas na campina e na savana, já a argila foi maior na campina (Fig. 7; Tab. 4). Areia grossa não diferiu entre os ambientes (Fig. 7; Tab. 4).

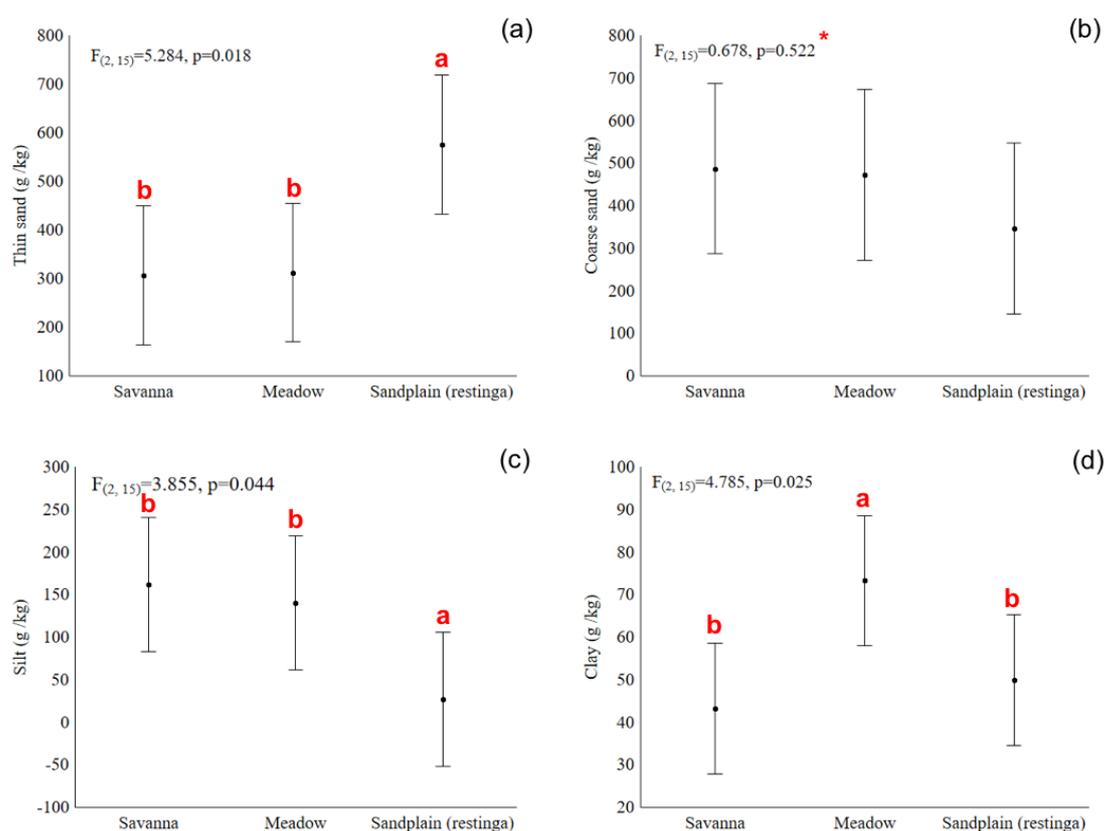


Figura 7. Análises de variância (ANOVA) com teste post-hoc de Tukey a um nível de significância de $\alpha = 0,05$ para atributos físicos do solo das áreas de campina, restinga e savana da Amazônia oriental. a) Thin sand - areia fina, b) Coarse sand - areia grossa, c) Silt - silte, d) Clay - argila. (*) Não apresentaram diferenças significativas ($p < 0.05$). Legenda: Savanna – savana, Meadow – campina, Sandplain – restinga.

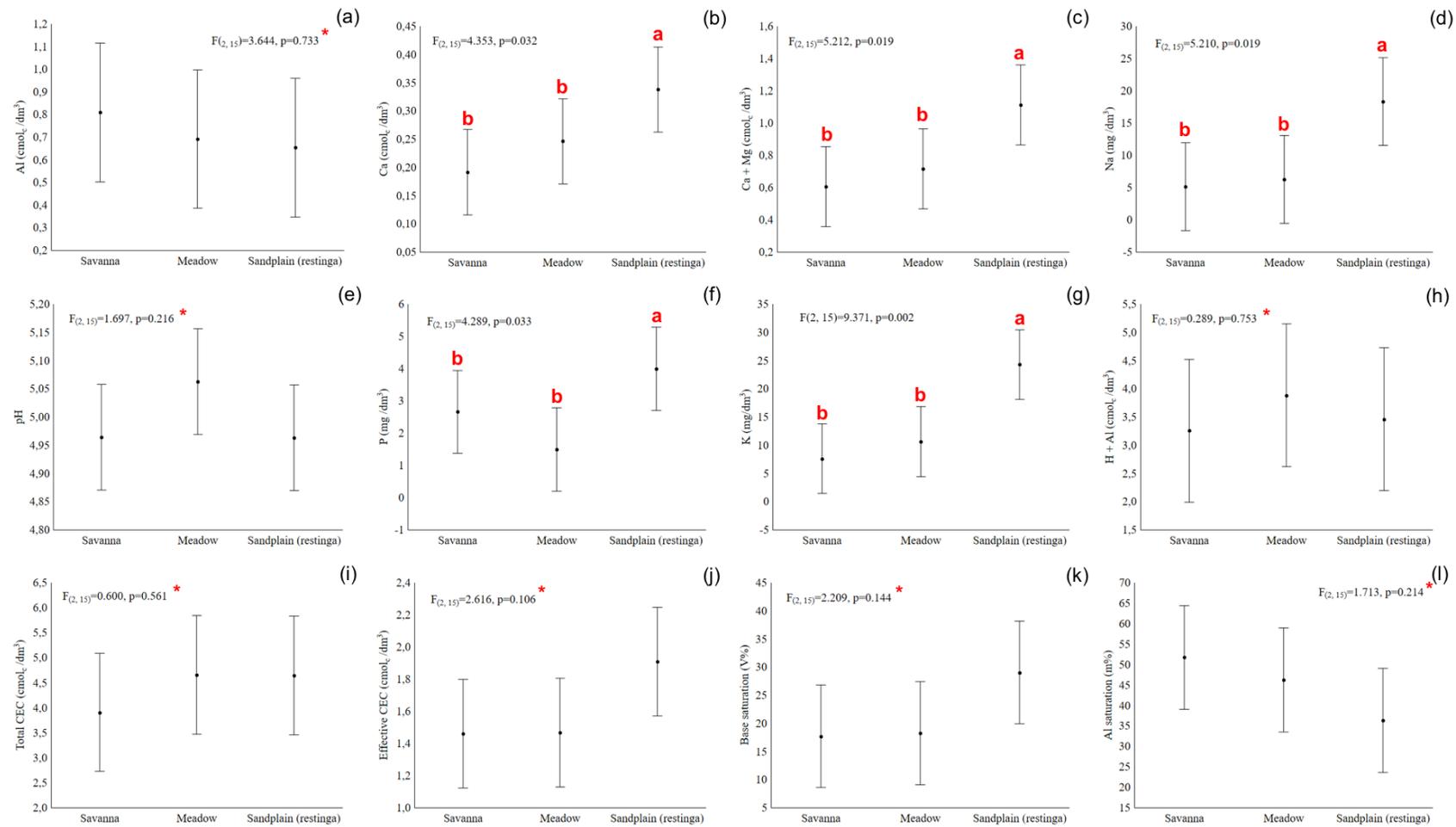


Figure 8. Análises de variância (ANOVA) com teste post-hoc de Tukey a um nível de significância de $\alpha = 0,05$ para atributos químicos do solo das áreas de campina, restinga e savana da Amazônia oriental. a) Aluminum (Al), b) Calcium (Ca), c) Calcium + Magnesium (Ca+Mg), d) Sodium (Na), e) Potential hydrogen (pH), f) Phosphor (P), g) Potassium (K), h) Hydrogen + Aluminum (H+Al), i) Total cation exchange capacity (Total CEC), j) Effective cation exchange capacity (Effective CEC), k) Base saturation (V%) e l) Aluminum saturation (m%). (*) Não apresentaram diferenças significativas ($p < 0.05$). Legenda: Savanna – savana, Meadow – campina, Sandplain – restinga.

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão de atributos químicos do solo estimados para cada ambiente (n=3). Fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), cálcio (Ca), cálcio + magnésio (Ca + Mg), pH, acidez potencial (H+ Al), capacidade de troca catiônica (CTC) total e efetiva, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

Atributos	Campina	Restinga	Savana
P (mg/dm ³)	1,50 ± 0,5477	4,00 ± 1,8974	2,67 ± 1,6330
K (mg/dm ³)	10,67 ± 3,6148	24,33 ± 11,2012	7,67 ± 3,6148
Na (mg/dm ³)	6,33 ± 1,9664	18,33 ± 12,9718	5,17 ± 3,3714
Al (cmolc/dm ³)	0,69 ± 0,2691	0,66 ± 0,2444	0,81 ± 0,4885
Ca (cmolc/dm ³)	0,25 ± 0,0789	0,34 ± 0,1221	0,19 ± 0,0397
Ca + Mg (cmolc/dm ³)	0,72 ± 0,1329	1,11 ± 0,4742	0,61 ± 0,0463
Ph (água)	5,06 ± 0,1268	4,96 ± 0,0898	4,97 ± 0,1031
H + Al (cmolc/dm ³)	3,89 ± 1,5019	3,46 ± 1,6415	3,26 ± 1,1810
Ctc Total (cmolc/dm ³)	4,66 ± 1,4053	4,65 ± 1,4598	3,91 ± 1,1994
Ctc Efetiva (cmolc/dm ³)	1,47 ± 1,1710	1,91 ± 0,4518	1,46 ± 0,4698
St base (V%)	18,32 ± 7,5705	29,09 ± 15,7947	17,77 ± 5,0138
St Alumínio (m%)	46,30 ± 13,1164	36,43 ± 16,3655	51,82 ± 14,1012

Tabela 4. Valores médios e desvio padrão de atributos físicos do solo estimados para cada ambiente (n=3).

Atributos	Campina	Restinga	Savana
Areia Grossa (g/kg)	473,17 ± 59,17	346,67 ± 121,12	487,33 ± 375,50
Areia Fina (g/kg)	312,67 ± 105,68	576,00 ± 126,90	306,83 ± 230,75
Silte (g/kg)	140,83 ± 77,27	27,33 ± 13,85	162,50 ± 135,80
Argila Total (g/kg)	73,33 ± 24,22	50,00 ± 10,95	43,33 ± 15,06

Tabela 5. Valores médios e desvio padrão de atributos morfológicos em *C. americana* estimados para cada tipologia (n=20). Leaf area - área foliar (LA), Leaf thickness - espessura foliar (LT), Specific leaf area - área específica foliar (SLA), Leaf dry-matter content - teor de matéria seca foliar (LDMC), Wood density - densidade da madeira (WD).

Ambiente	LA (m ²)	LT (mm)	SLA (gm ⁻²)	LDMC (mg g ⁻¹)	WD (g cm ³)
Campina	0,0121 ± 0,0016	0,2424 ± 0,0016	8,5681 ± 1,6332	0,4030 ± 0,0149	0,55 ± 0,0778
Restinga	0,0124 ± 0,0021	0,2364 ± 0,0466	15,0352 ± 6,3737	0,3979 ± 0,0184	0,48 ± 0,0052
Savana	0,0125 ± 0,0023	0,2784 ± 0,0682	9,3386 ± 1,0930	0,4202 ± 0,0289	0,53 ± 0,0212

Tabela 6. Valores médios e desvio padrão de atributos anatômicos dos ramos de *C. americana* estimados para cada tipologia (n=3). Average vessel area - soma da área dos vasos (AV), Vessel diameter - diâmetro dos vasos (D), Vessel density - frequência dos vasos (VD), Vulnerability index - índice de vulnerabilidade (VI), Vessel lumen-fraction - fração do lúmen do vaso (F), Non-lumen fraction - fração sem lúmen (NF), Hydraulic conductivity - condutividade hidráulica (Kh), Lumen resistivity - resistividade do lúmen (RL).

Atributos	Savana	Campina	Restinga
AV	65,03 ± 15,4075	75,00 ± 24,2437	71,72 ± 22,2378
D	2,26 ± 0,3491	2,40 ± 0,4298	2,46 ± 0,3972
VD	17,04 ± 5,6283	17,09 ± 6,0789	15,39 ± 5,3475
VI	0,15 ± 0,0757	0,17 ± 0,1076	0,18 ± 0,0722
F	0,29 ± 0,1902	0,34 ± 0,2899	0,36 ± 0,1968
NF	0,71 ± 0,1902	0,66 ± 0,2899	0,64 ± 0,1968
KH	0,74 ± 0,53387	0,92 ± 0,5825	1,04 ± 0,7021
RL	1,92 ± 1,0529	1,48 ± 0,8500	1,40 ± 0,8092

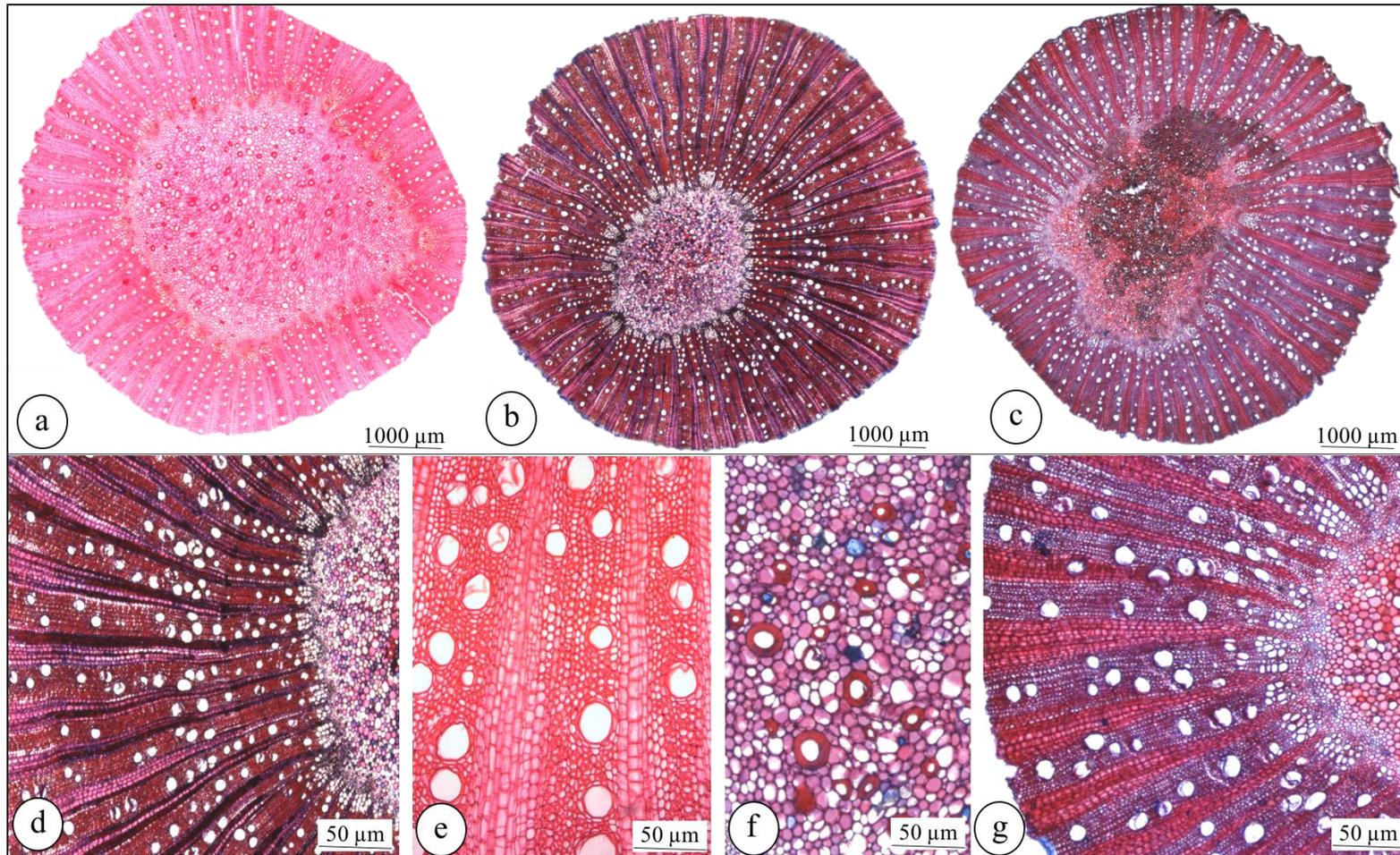


Figura 9. Anatomia dos ramos de *C. americana*. a) Savana (SAV), b) Campina (CAM), c) Restinga (RES). Detalhe da região periférica da medula e região cortical – CAM (d); Detalhe região cortical – SAV (e); Detalhe parênquima medular - RES (f); Detalhe da região periférica da medula e região cortical – RES (c). Legenda: SAV – savana, CAM – campina, RES – restinga.

Normas para publicação no Periódico:

Plant Species Biology

Sections

1. [Submission](#)
2. [Aims and Scope](#)
3. [Manuscript Categories and Requirements](#)
4. [Preparing the Submission](#)
5. [Editorial Policies and Ethical Considerations](#)
6. [Author Licensing](#)
7. [Publication Process After Acceptance](#)
8. [Post Publication](#)
9. [Editorial Office Contact Details](#)

1. SUBMISSION

Authors should kindly note that submission implies that the content has not been published or submitted for publication elsewhere except as a brief abstract in the proceedings of a scientific meeting or symposium.

Once the submission materials have been prepared in accordance with the Author Guidelines, manuscripts should be submitted online at <https://mc.manuscriptcentral.com/psb>

The submission system will prompt authors to use an ORCID iD (a unique author identifier) to help distinguish their work from that of other researchers. [Click here](#) to find out more.

Click here for more details on how to use [ScholarOne](#)

Data protection:

By submitting a manuscript to or reviewing for this publication, your name, email address, and affiliation, and other contact details the publication might require, will be used for the regular operations of the publication, including, when necessary, sharing with the publisher (Wiley) and partners for production and publication. The publication and the publisher recognize the importance of protecting the personal information collected from users in the operation of these services, and have practices in place to ensure that steps are taken to maintain the security, integrity, and privacy of the personal data collected and processed. You can learn more at <https://authorservices.wiley.com/statements/data-protection-policy.html>.

For help with submissions, please contact: psb@mail.esj.ne.jp

2. AIMS AND SCOPE

Plant Species Biology is published four times a year by The Society for the Study of Species Biology. *Plant Species Biology* publishes research manuscripts in the fields of population biology, pollination biology, evolutionary ecology, biosystematics, co-evolution, and any other related fields in biology. In addition to full length papers, the journal also includes short research papers as notes and comments. Invited articles may be accepted or occasion at the request of the Editorial Board. Manuscripts should contain new results of empirical and/or theoretical investigations concerning facts, processes, mechanisms or concepts of evolutionary as well as biological phenomena. Papers that are purely descriptive are not suitable for this journal. Notes & comments of the following contents will not be accepted for publication: Development of DNA markers. The journal is introducing 'Life history monographs of Japanese plant species'. The journal is dedicated to minimizing the time between submission, review and publication and to providing a high quality forum for original research in *Plant Species Biology*.

3. MANUSCRIPT CATEGORIES AND REQUIREMENTS

Original Articles

Word limit. Up to 7000 words excluding references

Abstract. 250 words maximum

Description. New results of empirical and/or theoretical investigations concerning facts, processes, mechanisms or concepts of evolutionary as well as biological phenomena. Papers that are purely descriptive are not suitable.

Review Articles [by Invitation only]

Word limit. Up to 7000 words excluding references

Abstract. 250 words maximum

Description. Articles reviewing recent advances in topical areas of plant species biology and should be written by authors authorized by editorial committee.

Notes and Comments

Word limit. Up to 4000 words excluding references

Abstract. Less than 150 words

Description. Reporting new significant ecological findings that do not warrant standard full-length manuscripts. Notes and comments on Development of DNA markers will not be accepted.

Life history monographs of Japanese plant species

Description. Articles reporting the life history monographs of Japanese plant species. Authors will be asked to choose one desired article type during online submission. The Editor-in-Chief reserves the right to change the article type for each manuscript.

4. PREPARING THE SUBMISSION

Cover Letters

Covering letters are optional and should be used to provide additional information not present in the manuscript which is relevant for the editorial office or editors.

Parts of the Manuscript

The manuscript should be submitted in separate files: main text file (including title page); tables and figures.

Main Text File

Submissions should be divided into the following sections:

- i. The article category (i.e. Original Article, Review Article, etc)
- ii. Title
- iii. The full names of the authors
- iv. The author's institutional affiliations where the work was carried out, with a footnote for the author's present address if different from where the work was carried out
- v. Abstract (up to 250 words) and keywords (up to 5)
- vi. Main text
- vii. Acknowledgments (optional)
- viii. References
- ix. Tables (each table complete with title and footnotes)
- x. Figure legends
- xi. Appendices (optional). Figures and supporting information should be supplied as separate files.

Title.

The title should be short and informative, containing major keywords related to the content. The title should not contain abbreviations (see **Wiley's best practice SEO tips**).

Authorship.

For details on eligibility for author listing, please refer to the journal's **Authorship policy** outlined in the **Editorial Policies and Ethical Considerations section**.

Acknowledgments.

Contributions from individuals who do not meet the criteria for authorship should be listed, with permission from the contributor, in an Acknowledgments section. Financial and material support should also be mentioned. Thanks to anonymous reviewers are not appropriate.

Conflict of Interest Statement.

Authors will be asked to provide a conflict of interest statement during the manuscript submission process. See '**Conflict of Interest**' section in **Editorial Policies and Ethical Considerations** for details on what to include in this section. Authors should ensure they liaise with all co-authors to confirm agreement with the final statement.

Abstract

Please provide an abstract of no more than 250 words or less. Each paper must be preceded by an abstract presenting (i) the premise of the study, (ii) methods, (iii) key results, and (iv) the main conclusion. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

A list in alphabetical order of five key words should be supplied after the Abstract for indexing purposes.

Main Text**Text Formatting**

Manuscripts should be submitted in a Word file (docx or doc format). The text should be 1.5-line spaced.

- Use a consistent font throughout (for example Times New Roman). Use 12-point type (use symbol palette for additional characters).
- Use the automatic page- and line-numbering function to number throughout the manuscript.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Footnotes to the text are not allowed and any such material should be incorporated into the text as parenthetical matter.
- Authors should use headings to divide the sections of their manuscript, if appropriate: Introduction, Methods, Results, Discussion, Acknowledgments, References.

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings. Numbering of the headings is not necessary.

References

Unless a review article, authors are encouraged to focus on the most recent references necessary to support textual materials, results or conclusions. References are styled according to **Wiley's APA Style**. This means in text citations should follow the author-date method whereby the author's last name and the year of publication for the source should appear in the text, for example, (Jones, 1998). The complete reference list should appear alphabetically by name at the end of the paper.

A sample of the most common entries in reference lists appears below (see pages 15-20 of **Wiley's APA Style** for more information). Please note that a DOI should be provided for all references where available. For journal articles, issue numbers are not included unless each issue in the volume begins with page one.

Journal

Sakane, Y., Sakuma, T., Kashiwagi, K., Kashiwagi, A., Yamamoto, T., & Suzuki, K. T. (2014). Targeted mutagenesis of multiple and paralogous genes in *Xenopus laevis* using two pairs of transcription activator-like effector nucleases. *Development, Growth & Differentiation*, 56, 108–114. doi: 10.1111/dgd.12105

Gilbert, D. G., McClemon, J. F., Rabinovich, N. E., Sugai, C., Plath, L. C., Asgaard, G., ... Botros, N. (2004). Effects of quitting smoking on EEG activation and attention last for more than 31 days and are more severe with stress, dependence, DRD2 A1 allele, and depressive traits. *Nicotine and Tobacco Research*, 6, 249–267. doi:10.1080/14622200410001676305

Book

Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (1998). *Seeds*. London: Academic Press.

Chapter in a book

Wylie, C. C., Scott, D. & Donovan, P. J. (1986). Primordial germ cell migration. In L. W. Browder (Ed.), *Developmental Biology*, Vol. 2 (pp. 433–448). New York: Plenum Press.

Tables

All tables are to be numbered using Arabic numerals. Tables should always be cited in text in consecutive numerical order and should be typed on a separate page. Tables should be self-contained and complement, not duplicate, information contained in the text. They should be supplied as editable files, not pasted as images. Legends should be concise but comprehensive – the table, legend, and footnotes must be understandable without reference to the text. All abbreviations must be defined in footnotes. Footnote symbols: Lowercase superscript letters ^a, ^b, ^c, ^d, should be used and *, **, *** should be reserved for P-values. Statistical measures such as SD (standard deviation), SEM (standard error of mean) or d.f. (degree of freedom), and other abbreviations should be identified in the headings. Significance should be provided if any bold values are used in the table. Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Figure Legends

Legends should be concise but comprehensive – the figure and its legend must be understandable without reference to the text. Include definitions of any symbols used and define/explain all abbreviations and units of measurement.

Figures

Although authors are encouraged to send the highest-quality figures possible, for peer-review purposes, a wide variety of formats, sizes, and resolutions are accepted. [Click here](#) for the basic figure requirements for figures submitted with manuscripts for initial peer review, as well as the more detailed post-acceptance figure requirements. Please prepare figures according to "[How to improve your figures](#)".

Figures submitted in colour

may be reproduced in colour online free of charge. Please note, however, that it is preferable that line figures (e.g. graphs and charts) are supplied in black and white so that they are legible if printed by a reader in black and white.

Additional Files

Appendices

Appendices will be published after the references. For submission they should be supplied as separate files but referred to in the text.

Supporting Information

Supporting information is information that is not essential to the article, but provides greater depth and background. It is hosted online and appears without editing or typesetting. It may include tables, figures, videos, datasets, etc. [Click here](#) for Wiley's FAQs on supporting information.

Note: if data, scripts, or other artefacts used to generate the analyses presented in the paper are available via a publicly available data repository, authors should include a reference to the location of the material within their paper.

General Style Points

The following points provide general advice on formatting and style.

- **Abbreviations:** Abbreviations should be defined at first mention in the abstract and again in the main body of the text and used consistently thereafter. Upon its first use in the title, abstract, and text, the common name of a species or an infraspecific taxon should be followed by the scientific name (Genus, species, and subspecies and/or variety) in parentheses. However, for well-known species, the scientific name may be omitted from the article title. If no common name exists in English, only the scientific name should be used. Genus, species, and infraspecific names should be in italics. At the first mention of a chemical substance, give the generic name only. When quoting specific materials, software, and equipment, the name and address of the manufacturer must be given in parentheses.
- **Units of measurement:** Measurements should be given in SI or SI-derived units. Visit the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) website at <https://www.bipm.org/en/about-us/> for more information about SI units.
- **Numbers:** numbers under 10 are spelt out, except for: measurements with a unit (8mmol/l); age (6 weeks old), or lists with other numbers (11 dogs, 9 cats, 4 gerbils).
- **Mathematical formulae and symbols:** Please use the standard mathematical notation for formulae, symbols, etc.:
 - Italic for single letters that denote mathematical constants, variables, and unknown quantities
 - Roman/upright for numerals, operators, and punctuation, and commonly defined functions or abbreviations, e.g., cos, det, e or exp, lim, log, max, min, sin, tan, d (for derivative)
 - Bold for vectors, tensors, and matrices.
 - Simple equations can be written as normal text. Use the solidus (/) instead of a horizontal line, e.g., Xp/Ym. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Equations that appear on separate lines are numbered consecutively.

Manuscript Preparation Tips: Wiley has a range of resources for authors preparing manuscripts for submission available [here](#). In particular, authors may benefit from referring to Wiley's best practice tips on [Writing for Search Engine Optimization](#).

Article Preparation Support: [Wiley Editing Services](#) offers expert help with English Language Editing, as well as translation, manuscript formatting, figure illustration, figure formatting, and graphical abstract design – so you can submit your manuscript with confidence.

Also, check out our resources for [Preparing Your Article](#) for general guidance about writing and preparing your manuscript.

5. EDITORIAL POLICIES AND ETHICAL CONSIDERATIONS

Editorial Review and Acceptance

The acceptance criteria for all papers are the quality and originality of the research and its significance to journal readership. Except where otherwise stated, manuscripts are single-blind peer reviewed. Papers will only be sent to review if the Editor-in-Chief determines that the paper meets the appropriate quality and relevance requirements.

Wiley's policy on confidentiality of the review process is [available here](#).

Preprints

Plant Species Biology will consider for review articles previously available as preprints. Authors may also post the submitted version of a manuscript to a server at any time. Authors are requested to update any pre-publication versions with a link to the final published article.

Data Storage and Documentation

Plant Species Biology encourages data sharing wherever possible, unless this is prevented by ethical, privacy, or confidentiality matters. Authors publishing in the journal are therefore encouraged to make their data, scripts, and other artefacts used to generate the analyses presented in the paper available via a publicly available data repository; however, this is not mandatory. If the study includes original data, at least one author must confirm that he or she had full access to all the data in the study and takes responsibility for the integrity of the data and the accuracy of the data analysis.

Human Studies and Subjects

For manuscripts reporting medical studies that involve human participants, a statement identifying the ethics committee that approved the study and confirmation that the study conforms to recognized standards is required, for example: **Declaration of Helsinki; US Federal Policy for the Protection of Human Subjects;** or **European Medicines Agency Guidelines for Good Clinical Practice**.

Images and information from individual participants will only be published where the authors have obtained the individual's free prior informed consent. Authors do not need to provide a copy of the consent form to the publisher; however, in signing the author license to publish, authors are required to confirm that consent has been obtained. Wiley has a **standard patient consent form available for use**.

Animal Studies

A statement indicating that the protocol and procedures employed were ethically reviewed and approved, as well as the name of the body giving approval, must be included in the Methods section of the manuscript. Authors are encouraged to adhere to animal research reporting standards, for example the **ARRIVE reporting guidelines** for reporting study design and statistical analysis; experimental procedures; experimental animals and housing and husbandry. Authors should also state whether experiments were performed in accordance with relevant institutional and national guidelines for the care and use of laboratory animals:

- US authors should cite compliance with the US National Research Council's Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, the US Public Health Service's Policy on Humane Care and Use of Laboratory Animals, and Guide for the Care and Use of Laboratory Animals.
- UK authors should conform to UK legislation under the Animals (Scientific Procedures) Act 1986 Amendment Regulations (SI 2012/3039).
- European authors outside the UK should conform to Directive 2010/63/EU.

Species Names

Upon its first use in the title, abstract, and text, the common name of a species should be followed by the scientific name (genus, species, and authority) in parentheses. For well-known species, however, scientific names may be omitted from article titles. If no common name exists in English, only the scientific name should be used.

Genetic Nomenclature

Sequence variants should be described in the text and tables using both DNA and protein designations whenever appropriate. Sequence variant nomenclature must follow the current HGVS guidelines; see varnomen.hgvs.org, where examples of acceptable nomenclature are provided.

Sequence Data

Nucleotide sequence data can be submitted in electronic form to any of the three major collaborative databases: DDBJ, EMBL, or GenBank. It is only necessary to submit to one database as data are exchanged between DDBJ, EMBL, and GenBank on a daily basis. The suggested wording for referring to accession-number information is: ‘These sequence data have been submitted to the DDBJ/EMBL/GenBank databases under accession number U12345’. Addresses are as follows:

- DNA Data Bank of Japan (DDBJ): www.ddbj.nig.ac.jp
- EMBL Nucleotide Archive: ebi.ac.uk/ena
- GenBank: www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank

Proteins sequence data should be submitted to either of the following repositories.

- Protein Information Resource (PIR): pir.georgetown.edu
- SWISS-PROT: expasy.ch/sprot/sprot-top

Conflict of Interest

The journal requires that all authors disclose any potential sources of conflict of interest. Any interest or relationship, financial or otherwise that might be perceived as influencing an author's objectivity is considered a potential source of conflict of interest. These must be disclosed when directly relevant or directly related to the work that the authors describe in their manuscript. Potential sources of conflict of interest include, but are not limited to: patent or stock ownership, membership of a company board of directors, membership of an advisory board or committee for a company, and consultancy for or receipt of speaker's fees from a company. The existence of a conflict of interest does not preclude publication. If the authors have no conflict of interest to declare, they must also state this at submission. It is the responsibility of the corresponding author to review this policy with all authors and collectively to disclose with the submission ALL pertinent commercial and other relationships.

Funding

Authors should list all funding sources in the Acknowledgments section. Authors are responsible for the accuracy of their funder designation. If in doubt, please check the Open Funder Registry for the correct nomenclature: <https://www.crossref.org/services/funder-registry/>

Authorship

The list of authors should accurately illustrate who contributed to the work and how. All those listed as authors should qualify for authorship according to the following criteria:

1. Have made substantial contributions to conception and design, or acquisition of data, or analysis and interpretation of data;
2. Been involved in drafting the manuscript or revising it critically for important intellectual content;
3. Given final approval of the version to be published. Each author should have participated sufficiently in the work to take public responsibility for appropriate portions of the content; and
4. Agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Contributions from anyone who does not meet the criteria for authorship should be listed, with permission from the contributor, in an Acknowledgments section (for example, to recognize contributions from people who provided technical help, collation of data, writing assistance, acquisition of funding, or a department chairperson who provided general support). Prior to submitting the article all authors should agree on the order in which their names will be listed in the manuscript.

Additional Authorship Options: Joint first or senior authorship: In the case of joint first authorship, a footnote should be added to the author listing, e.g. ‘X and Y should be considered joint first author’ or ‘X and Y should be considered joint senior author.’

ORCID

As part of the journal’s commitment to supporting authors at every step of the publishing process, the journal requires the submitting author (only) to provide an ORCID iD when submitting a manuscript. This takes around 2 minutes to complete. [Find more information here.](#)

Publication Ethics

This journal is a member of the [Committee on Publication Ethics \(COPE\)](#). Note this journal uses iThenticate’s Similarity Check software to detect instances of overlapping and similar text in submitted manuscripts. Read the Top 10 Publishing Ethics Tips for Authors [here](#). Wiley’s Publication Ethics Guidelines can be found at authorservices.wiley.com/ethics-guidelines/index.html.

6. AUTHOR LICENSING

If a paper is accepted for publication, the author identified as the formal corresponding author will receive an email prompting them to log in to Author Services, where via the Wiley Author Licensing Service (WALS) they will be required to complete a copyright license agreement on behalf of all authors of the paper.

Authors may choose to publish under the terms of the journal’s standard copyright agreement, or [OnlineOpen](#) under the terms of a Creative Commons License.

General information regarding licensing and copyright is available [here](#). To review the Creative Commons License options offered under OnlineOpen, please [click here](#). (Note that certain funders mandate a particular type of CC license be used; to check this please click [here](#).)

Self-Archiving Definitions and Policies: Note that the journal’s standard copyright agreement allows for self-archiving of different versions of the article under specific conditions. Please click [here](#) for more detailed information about self-archiving definitions and policies.

Open Access fees: Authors who choose to publish using OnlineOpen will be charged a fee. A list of Article Publication Charges for Wiley journals is available [here](#).

Funder Open Access: Please click [here](#) for more information on Wiley’s compliance with specific Funder Open Access Policies.

7. PUBLICATION PROCESS AFTER ACCEPTANCE

Proofs

Authors will receive an e-mail notification with a link and instructions for accessing HTML page proofs online. Page proofs should be carefully proofread for any copyediting or typesetting errors. Online guidelines are provided within the system. No special software is required, all common browsers are supported. Authors should also make sure that any renumbered tables, figures, or references match text citations and that figure legends correspond with text citations and actual figures. Proofs must be returned within 48 hours of receipt of the email. Return of proofs via e-mail is possible in the event that the online system cannot be used or accessed.

Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Publication Charges

No page or color charge will be levied. This policy will be effective to a manuscript published in Issue 1 of 2019 volume onwards.

Early View

The journal offers rapid publication via Wiley's Early View service. **Early View** (Online Version of Record) articles are published on Wiley Online Library before inclusion in an issue. Note there may be a delay after corrections are received before the article appears online, as Editors also need to review proofs. Once the article is published on Early View, no further changes to the article are possible. The Early View article is fully citable and carries an online publication date and DOI for citations.

Article PDF for authors

A PDF of the article will be made available to the corresponding author via Author Services.

Printed Offprints

Printed offprints may be ordered online for a fee. Please click on the following link and fill in the necessary details and ensure that you type information in all of the required fields: www.sheridan.com/wiley/eoc.

8. POST PUBLICATION

Access and Sharing

When the article is published online:

- The author receives an email alert (if requested).
- The link to the published article can be shared through social media.
- The author will have free access to the paper (after accepting the Terms & Conditions of use, they can view the article).
- The corresponding author and co-authors can nominate up to ten colleagues to receive a publication alert and free online access to the article.

To find out how to best promote an article, click [here](#).

Article Promotion Support

Wiley Editing Services offers professional video, design, and writing services to create shareable video abstracts, infographics, conference posters, lay summaries, and research news stories for your research – so you can help your research get the attention it deserves.

Measuring the Impact of an Article

Wiley also helps authors measure the impact of their research through specialist partnerships with **Kudos** and **Altmetric**.

9. EDITORIAL OFFICE CONTACT DETAILS

Plant Species Biology Editorial Office
Editorial Coordinator: Yuko Aoshima
c/o The Ecological Society of Japan
1-8 Nishihanaikecho, Koyama, Kita-Ku
Kyoto 603-8148, Japan
Email: psb@mail.esj.ne.jp

Author Guidelines updated 30 January 2020